



# **Prospecção tecnológica do aproveitamento dos resíduos de café pela indústria de biocombustíveis e energia**

Leonardo Martins de Almeida

Projeto Final em Engenharia Química

Orientadores:

Suzana Borschiver, *D.Sc.*

Daniel Tinôco, *M.Sc.*

Taissa Ferreira de Oliveira Souza, *M.Sc.*

Agosto de 2021

**PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE  
CAFÉ PELA INDÚSTRIA DE BIOCOMBUSTÍVEIS E ENERGIA**

***Leonardo Martins de Almeida***

Projeto Final em Engenharia Química submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenharia Química.

Aprovado por:

---

Prof. Élcio Ribeiro Borges, *D. Sc.*

---

Prof.<sup>a</sup> Érika Cristina Gonçalves Aguiéiras, *D. Sc.*

Orientado por:

---

Prof.<sup>a</sup> Suzana Borschiver, *D. Sc.*

---

Prof. Daniel Tinôco, *M. Sc.*

---

Taissa Ferreira de Oliveira Souza, *M. Sc.*

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Agosto de 2021

Ficha Catalográfica

de Almeida, Leonardo Martins

Prospecção tecnológica do aproveitamento dos resíduos de café na indústria de biocombustíveis e energia / Leonaro Martins de Almeida, Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2021.

x, 109 p.; il.

(Projeto Final) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2021.

Orientadores: Suzana Borschiver, Daniel Tinôco, Taissa Ferreira de Oliveira Souza.

1. Prospecção Tecnológica. 2. Resíduos de café 3. Biocombustíveis

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço à minha família, meus pais, Daniele e Amauri, minhas irmãs, meu irmão e meus avós por todo o apoio, carinho e suporte dados em todos esses anos, seja nos melhores momentos, seja nas situações mais difíceis.

Agradeço aos meus orientadores Taissa, Daniel e Suzana, por todo suporte e ensinamentos durante o período de execução do TCC. Foi um prazer tê-los como professores e orientadores.

A todos os meus amigos. Em especial, do colégio agradeço a Victória, Mayara, Isabela, Natália, Larissa e Gabriel Dezan, que mesmo depois de tantos anos continuam sendo meu apoio, meu porto seguro e meus companheiros. Em especial aos meus amigos da UFRJ Ellen, Thamires e Mari, vocês são companheiras de vida. Gostaria de agradecer também à Sandy que nesses últimos anos esteve ao meu lado em todos os momentos, obrigado por todo apoio e todas as risadas.

Agradeço também ao meu namorado Gabriel Hage, por estar comigo nos momentos mais difíceis e também nos mais felizes, obrigado por todo apoio e carinho.

A todos meus amigos e companheiros de trabalho na Shell.

Por fim agradeço à Universidade Federal do Rio de Janeiro e toda sua comunidade e corpo docente que me trouxeram muitos ensinamentos e proporcionaram minha graduação em Engenharia Química.

*Leonardo Martins de Almeida*

Resumo do Projeto Final apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenharia Química.

## **PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE CAFÉ NA INDÚSTRIA DE BIOCOMBUSTÍVEIS E ENERGIA**

Leonardo Martins de Almeida

Agosto, 2021

Orientadores: Suzana Borschiver, *D.Sc.*

Daniel Tinôco, *M.Sc.*

Taissa Ferreira de Oliveira Souza, *M.Sc.*

O café é a segunda maior *commodity* comercializada e a segunda bebida mais popular do mundo. A indústria cafeeira gera uma enorme quantidade de resíduos como borra, polpa, casca, mucilagem e película de prata do café. A reciclagem desse resíduo para produção de biocombustíveis é uma das maneiras de agregar valor a essa biomassa, solucionando os problemas associados à sua disposição no ambiente. Dentro desse contexto, este trabalho teve como objetivo identificar as tendências tecnológicas para o aproveitamento dos resíduos de café na indústria de biocombustíveis e energia, com foco na produção de biodiesel, bioetanol e biogás por meio de um estudo de prospecção tecnológica. Foi realizada uma busca de artigos científicos e patentes, divididas entre solicitadas e concedidas, referentes ao tema estudado, utilizando as bases de dados *Web of Science* e *LENS*. Como resultado, foram analisados 90 artigos científicos, 26 patentes solicitadas e 11 patentes concedidas no período de 1981 a agosto de 2021. A borra de café se destacou como o resíduo mais utilizado, enquanto o biodiesel foi o biocombustível mais produzido a partir desses resíduos. O Brasil é o segundo país com mais artigos publicados sobre o tema, ficando atrás apenas da Coreia do Sul, sendo, portanto, promissora a utilização de resíduos de café para a geração nacional de energia.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### FIGURAS

Figura 1 - Produção anual de café no mundo e no Brasil .....	16
Figura 2 - Fruto do café e suas partes .....	17
Figura 3 - Tecnologias de processamento do café e resíduos gerados .....	19
Figura 4 - Representação esquemática do complexo lignocelulósico .....	24
Figura 5 - Processo de fermentação alcoólica .....	27
Figura 6 - Processo simplificado da digestão anaeróbica .....	29
Figura 7 - Reação de transesterificação para produção de biodiesel.....	31
Figura 8 - Configurações da reação de transesterificação usada com resíduos de café.....	32
Figura 9 - Produção brasileira de etanol combustível entre 2017 e 2020 .....	34
Figura 10 - Volume de biogás produzido no Brasil e quantidade de plantas em operação por ano .....	35
Figura 11 - Volume de biodiesel produzido no Brasil por ano .....	36
Figura 12 - Uso de matérias-primas para a produção de biodiesel no Brasil em dezembro de 2019.....	37
Figura 13 - Etapas da metodologia de prospecção tecnológica.....	40
Figura 14 - Evolução temporal dos artigos científicos publicados – período de 1981 a Ago/2021 .....	46
Figura 15 - País de origem dos autores principais dos artigos científicos publicados de 1981 a Ago/2021 .....	48
Figura 16 - Natureza das instituições que publicaram artigos científicos entre 1981 a Ago/2021 .....	49
Figura 17 - Análise Meso dos artigos científicos .....	50
Figura 18 - Tipos de resíduos do processamento de café (artigos) .....	57
Figura 19 - Natureza das frações extraídas dos resíduos de café (artigos) .....	58
Figura 20 - Tecnologia de pré-tratamento dos resíduos de café (artigos).....	60
Figura 21 - Processos de conversão (artigos).....	63
Figura 22 - Biocombustíveis (artigos).....	66
Figura 23 - Evolução temporal do depósito de patentes solicitadas – período de 2000 a Ago/2021 .....	68

Figura 24 - Jurisdição das patentes solicitadas no período de 2000 a Ago/2021 .....	69
Figura 25 - Natureza dos depositantes de patentes solicitadas entre 2000 e Ago/2021 .....	70
Figura 26 - Análise Meso das patentes solicitadas – taxonomias propostas .....	71
Figura 27 - Tipos de resíduos do processamento de café (patentes solicitadas).....	75
Figura 28 - Natureza das frações extraídas dos resíduos de café (patentes solicitadas).....	76
Figura 29 - Tecnologia de pré-tratamento dos resíduos de café (patentes solicitadas).....	77
Figura 30 - Processos de conversão (patentes solicitadas) .....	79
Figura 31 - Biocombustíveis (patentes solicitadas) .....	81
Figura 32 - Evolução temporal do depósito de patentes concedidas – período de 2013 a Ago/2021 .....	83
Figura 33 - Jurisdição das patentes concedidas no período de 2013 a Ago/2021 .....	84
Figura 34 - Natureza dos depositantes de patentes concedidas entre 2013 a Ago/2021 .....	85
Figura 35 - Análise Meso das patentes concedidas – taxonomias propostas .....	86
Figura 36 - Tipos de resíduos do processamento de café (patentes concedidas) .....	89
Figura 37 - Natureza das frações extraídas dos resíduos de café (patentes concedidas) .....	90
Figura 38 - Tecnologia de pré-tratamento dos resíduos de café (patentes concedidas) .....	90
Figura 39 - Processos de conversão (patentes concedidas).....	92
Figura 40 - Biocombustíveis (patentes concedidas).....	93

## QUADROS

Quadro 1 - Características das espécies de café Arábica e Robusta.....	15
Quadro 2 - Palavras-chaves referentes aos resíduos do processamento de café .....	42
Quadro 3 - Palavras-chaves referentes aos Biocombustíveis .....	42
Quadro 4 - Taxonomias Meso, Micro 1 e Micro 2 .....	45
Quadro 5 – Comparação entre as bases de dados de patentes .....	67
Quadro 6 - Resumo dos resultados encontrados na prospecção tecnológica do aproveitamento dos resíduos de café para a produção de biocombustíveis. ....	96

## **TABELAS**

Tabela 1 - Tabela de escopo - artigos .....	55
Tabela 2 - Tabela de escopo - patentes solicitadas .....	74
Tabela 3 - Tabela de escopo - patentes concedidas .....	88



## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>INTRODUÇÃO E OBJETIVOS</b>	<b>11</b>
<b>1.1</b>	<b>CONTEXTUALIZAÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>1.2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>12</b>
<b>1.3</b>	<b>ESTRUTURAÇÃO DO PROJETO FINAL</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>Café</b>	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>Estrutura dos frutos de café</b>	<b>17</b>
<b>2.3</b>	<b>Resíduos de café</b>	<b>17</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Tecnologias de Processamento</b>	<b>17</b>
<b>2.3.1.1</b>	<b>Via Úmida</b>	<b>19</b>
<b>2.3.1.2</b>	<b>Via Seca</b>	<b>20</b>
<b>2.3.1.3</b>	<b>Via Semiúmida/Semisseca</b>	<b>20</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Principais Resíduos de Café utilizados na produção de biocombustíveis</b>	<b>20</b>
<b>2.3.2.1</b>	<b>Casca</b>	<b>20</b>
<b>2.3.2.2</b>	<b>Polpa</b>	<b>21</b>
<b>2.3.2.3</b>	<b>Mucilagem</b>	<b>22</b>
<b>2.3.2.4</b>	<b>Borra</b>	<b>22</b>
<b>2.4</b>	<b>Biocombustíveis</b>	<b>22</b>
<b>2.4.1</b>	<b>Tecnologias de produção de biocombustíveis a partir dos resíduos de café</b>	<b>23</b>
<b>2.4.1.1</b>	<b>Pré-tratamentos</b>	<b>23</b>
<b>2.4.1.1.1</b>	<b>Secagem</b>	<b>25</b>

2.4.1.1.2 Extração por solvente .....	25
2.4.1.1.3 Hidrólise Enzimática .....	26
2.4.1.2 Fermentação .....	27
2.4.1.3 Co-digestão anaeróbica .....	28
2.4.1.4 Transesterificação .....	31
2.4.2 Tipos de biocombustíveis obtidos a partir dos resíduos de café .....	33
2.4.2.1 Bioetanol .....	33
2.4.2.2 Biogás.....	34
2.4.2.3 Biodiesel.....	35
<b>CAPÍTULO 3        PROSPECÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA .....</b>	<b>38</b>
<b>CAPÍTULO 4        METODOLOGIA .....</b>	<b>40</b>
4.1 Estratégia de busca de artigos.....	41
4.1.1 Etapa Pré-prospectiva.....	41
4.1.2 Etapa Prospectiva .....	42
4.1.3 Etapa Pós-prospectiva .....	43
4.2 Estratégia de busca de patentes.....	44
<b>CAPÍTULO 5        RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>46</b>
5.1 Artigos Científicos.....	46
5.1.1 Análise Macro .....	46
5.1.2 Análise Meso.....	50
5.1.3 Análise Micro .....	54
5.1.3.1 Resíduos do processamento de café .....	56
5.1.3.2 Composição química dos resíduos de café .....	58
5.1.3.3 Pré-tratamentos .....	59
5.1.3.4 Processo de conversão .....	63

5.1.3.5 Biocombustíveis .....	65
5.2 Patentes .....	67
5.2.1 Patentes Solicitadas.....	68
5.2.1.1 Análise Macro .....	68
5.2.1.2 Análise Meso.....	71
5.2.1.3 Análise Micro .....	73
5.2.1.3.1 Resíduos do processamento de café .....	75
5.2.1.3.2 Composição química dos resíduos de café .....	76
5.2.1.3.3 Pré-tratamento .....	77
5.2.1.3.4 Processo de conversão .....	78
5.2.1.3.5 Biocombustíveis.....	81
5.2.2 Patentes Concedidas .....	82
5.2.2.1 Análise Macro .....	82
5.2.2.2 Análise Meso.....	85
5.2.2.3 Análise Micro .....	87
5.2.2.3.1 Resíduos do processamento de café .....	89
5.2.2.3.2 Composição química dos resíduos de café .....	89
5.2.2.3.3 Pré-tratamento .....	90
5.2.2.3.4 Processo de conversão .....	92
5.2.2.3.5 Biocombustíveis.....	93
CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES .....	95
CAPÍTULO 7 TRABALHOS FUTUROS.....	97
REFERÊNCIAS .....	98

## CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Novas fontes de energia têm sido investigadas nos últimos anos em alternativa às tradicionais fontes fósseis, devido ao esgotamento e a questões ambientais inerentes a utilização de combustíveis derivados de petróleo. O uso de recursos naturais renováveis para a produção de biocombustíveis está se tornando cada vez mais importante. No entanto, é um grande desafio encontrar uma matéria-prima que seja econômica e ambientalmente adequada, ao mesmo tempo que não gere competição com a produção de alimentos. Nesse sentido, diferentes resíduos de biomassa, como os resíduos de café, estão sendo explorados para a produção de biocombustíveis (KARMEE, 2017).

O café é a segunda maior *commodity* comercializada depois do petróleo e a segunda bebida mais popular depois da água (VARDON et al., 2013). Acredita-se que a indústria de café gere uma enorme quantidade de resíduos, como a borra de café, considerada um dos principais subprodutos do processamento do café, juntamente com a casca, a polpa e a mucilagem (CHALA et al., 2018). A reciclagem desses resíduos, por meio da conversão em biocombustíveis e produtos de valor agregado, empregando-se os conceitos de biorefinaria e economia circular, é uma maneira promissora de resolver o problema de muitos países que enfrentam desafios diários e apresentam custos pesados no descarte de resíduos (ATTABANI et al., 2019).

Os resíduos de café possuem potencial para se tornarem matérias-primas de biorefinarias integradas, acrescentando mais uma possibilidade de biomassa ao portfólio de plantas industriais de produção de biocombustíveis. Além disso, poderão contribuir para o aumento da flexibilidade da produção e para uma melhor segurança de abastecimento e estabilidade de custos do setor de energia (ROCHA et al., 2014).

Devido à sua composição química rica em lipídios e compostos glicídicos, os resíduos de café podem ser convertidos em biodiesel, a partir da extração e transesterificação de seus óleos, e em bioetanol e biogás, por meio do

aproveitamento de sua fração lignocelulósica, submetida à fermentação e à digestão anaeróbica, respectivamente (KAMIL et al., 2020).

## **1.2 OBJETIVOS**

Este trabalho teve como objetivo realizar um estudo de prospecção tecnológica do aproveitamento dos resíduos de café na indústria de biocombustíveis e energia, com destaque à produção de três bioprodutos: biodiesel, bioetanol e biogás. Foram realizadas análises de artigos científicos e patentes com o intuito de se observar e identificar as principais tendências tecnológicas, com base nos aspectos do produto, do processo e das aplicações envolvendo essa biomassa.

## **1.3 ESTRUTURAÇÃO DO PROJETO FINAL**

Para atender aos objetivos propostos, este trabalho está estruturado conforme descrito a seguir:

Neste Capítulo 1, é apresentada uma breve introdução do assunto objeto de estudo, bem como dos principais objetivos do trabalho.

No Capítulo 2, é apresentada uma visão geral acerca do tema, abordando fundamentação teórica sobre o café, os resíduos de seu processamento, as tecnologias de produção de bioconbustíveis e aspectos relevantes do bioetanol, biogás e biodiesel.

No Capítulo 3, é apresentada a fundamentação teórica dos conceitos sobre prospecção tecnológica.

No Capítulo 4, são descritas as estratégias utilizadas para a pesquisa de artigos científicos e patentes e seus métodos de seleção.

No Capítulo 5, são apresentados os resultados do levantamento tecnológico.

No Capítulo 6, são expostas as principais conclusões deste trabalho.

No Capítulo 7, são apresentadas sugestões de trabalhos futuros a partir dos resultados encontrados neste estudo.

Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas usadas neste estudo.

## CAPÍTULO 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Café

Originado da palavra árabe *qahwa*, que significa vinho, o café é o fruto da planta *Coffea*, da família *Rubiaceae*, conhecido como “vinho da Arábia” na Europa do século XIV, embora não exista evidência oficial de sua origem (REUTERS, 2017).

O café é cultivado principalmente em áreas tropicais, em especial no Brasil, e é consumido principalmente na Europa e nos Estados Unidos. As variedades de maior importância econômica e de maior consumo mundial são: Arábica (*Coffea arabica*) e Robusta (*Coffea canephora*). A variedade Arábica apresenta preços mais altos, devido às suas características de sabor e aroma mais intensos, com variações de corpo e acidez, e representa 61% da produção mundial (BATTISTA et al., 2016). Já a variedade Robusta, também chamada de café Conillon, apresenta acidez mais baixa, o dobro de cafeína, se comparado ao café Arábica, e maior utilização em café solúvel.

O café é também a *commodity* alimentar mais importante do mundo e ocupa o segundo lugar, atrás do petróleo bruto, entre todas as *commodities*. Cerca de 60 países produzem café extensivamente, sendo o principal produto de exportação agrícola para muitos desses países (ESQUIVEL e JÍMENEZ, 2012).

No Quadro 1, as principais diferenças entre as variedades de café Arábica e Robusta são apresentadas.

Quadro 1 - Características das espécies de café Arábica e Robusta

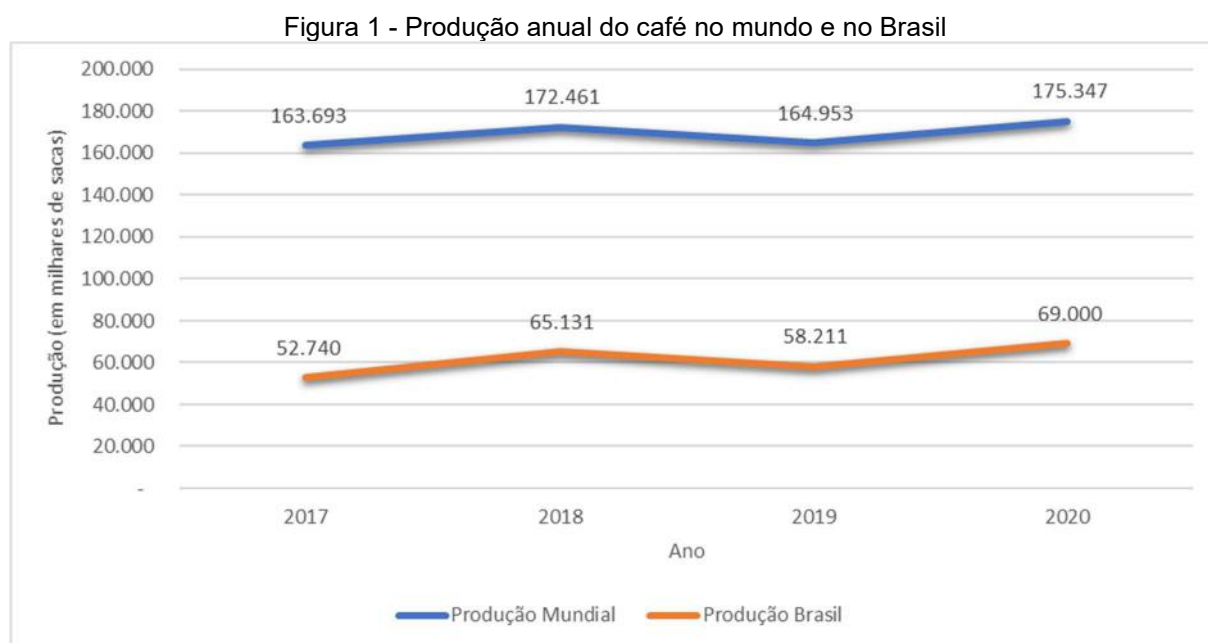
<b>Características</b>	<b><i>Coffea arabica</i></b>	<b><i>Coffea canephora</i></b>
<b>Origem</b>	Restrita (Etiópia)	Ampla (Bacia do Congo)
<b>Altitude preferencial</b>	Elevada, acima de 1000 m	Baixa, abaixo de 500 m
<b>Temperatura preferencial</b>	Amena, em torno de 18 °C e 22 °C	Elevada, entre 24 °C e 28 °C
<b>Déficit Hídrico</b>	Mais sensível, até 100 mm/ano	Menos sensível, até 150 mm/ano
<b>Rusticidade</b>	Menor	Maior
<b>Fecundação</b>	Autógama	Alógama
<b>Ploidia</b>	Tetraplóide, com 44 cromossomos	Diplóide, com 22 cromossomos
<b>Caule</b>	Monocaule	Policaule
<b>Poda</b>	Menos frequência	Mais frequência
<b>Porte</b>	Mais baixo	Mais alto
<b>Saia</b>	Mais duradoura	Menos duradoura
<b>Condução preferencial</b>	Adensamento, cultivo em renque	Semi-adensado, com controle do nº de hastes
<b>Espaçamento</b>	Fechado	Aberto
<b>Propagação</b>	Semente	Semente e Estaca
<b>Desenvolvimento Inicial</b>	Rápido	Lento
<b>Sistema Radicular</b>	Menos vigoroso	Mais vigoroso
<b>Período de Maturação</b>	Menor, em média 240 dias.	Maior, em média 300 dias
<b>Folha e Flor</b>	Menores	Maiores
<b>Cor do fruto</b>	Mais claro	Mais escuro
<b>Grãos Maduros</b>	Caem no chão	Ficam na planta
<b>Sólidos Solúveis</b>	Menor teor	Maior teor
<b>Bebida</b>	Sabor suave	Sabor diferenciado
<b>Cafeína</b>	Menor	Maior
<b>Ac. Clorogênico</b>	Menor	Maior
<b>Mucilagem</b>	Mais	Menos
<b>Polifenoloxidase</b>	Inferior	Superior
<b>Resistência a Nematóides</b>	Menor	Maior
<b>Enxertia</b>	Enxerto	Porta-enxerto
<b>Ventos frios</b>	Menos sensível	Mais sensível
<b>Colheita</b>	Permite mecanizar	Difícil mecanização
<b>Secagem</b>	Maior tempo	Menor tempo
<b>Industrialização</b>	Torrado e Moído	Solúvel e Blends
<b>Preço</b>	Maior	Menor
<b>Mercado</b>	Maior (70%)	Menor (30%)

Fonte: EMBRAPA (2004).

De acordo com o relatório da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2020), somente no Brasil, de 2019 a 2020, a produção anual de café aumentou cerca de 18,5%. A produção de café Arábica, principal variedade no Brasil, foi responsável por aproximadamente 80% da produção de 2020, sendo os outros 20% representados pelo café Conilon (CONAB, 2020). Já no mundo, de 2019



a 2020, obteve-se um aumento de 6,3% na produção anual. Na Figura 1, é observado os valores de produção anuais de 2017 a 2020 do Brasil e do mundo em milhares de sacas (60 kg).



Fonte: adaptado de ICO (2021).

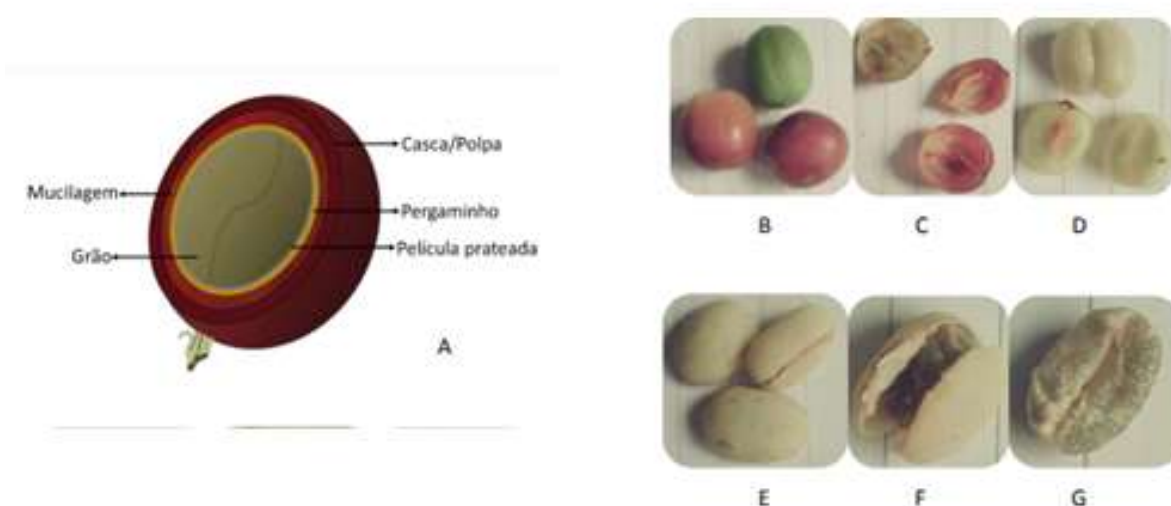
Diante disso, é verificado um crescimento na geração de resíduos à medida que a quantidade de cerejas de café processadas vem aumentando. Estima-se que 1 tonelada de café seja responsável pela geração de cerca de 650 kg de resíduos (MORALES-MARTINEZ et al., 2020), cujas principais tecnologias de disposição final são a incineração e o descarte em aterros sanitários, escolhas que não agregam valor a essa biomassa residual (ATTABANI et al., 2019).

A recuperação e o uso de resíduos agroindustriais têm atraído a atenção global, principalmente por não concorrer com a produção de alimentos, ração e energia existentes, permitindo, assim, o desenvolvimento e melhoria de tecnologias mais sustentáveis (GO et al., 2020). Nesse sentido, o aproveitamento dos resíduos de café para a produção de biocombustíveis é considerado vantajoso e potencialmente aplicável ao setor de energia (BATTISTA et al., 2020).

## 2.2 Estrutura dos frutos de café

Os frutos do café são classificados como café verde (não-maduro) e café cereja (maduro), sendo formados pelas seguintes estruturas: exocarpo, mesocarpo, endocarpo e endosperma (DURÁN et al., 2017). O exocarpo é representado por uma pele exterior e pela casca de café, que cobrem o mesocarpo, formado pela polpa de café, de natureza, fibrosa e macia, e pela mucilagem, uma camada translúcida, viscosa e altamente hidratada. O endocarpo é representado pelo pergaminho, que recobre os grãos de café envoltos pela película prateada (epiderme). Por fim, a semente de café constitui o endosperma (ESQUIVEL e JÍMENEZ, 2012). A representação do grão de café e suas partes é apresentada na Figura 2.

Figura 2 – Fruto do café e suas partes: (A) Desenho do fruto de café e suas partes; (B) Diferentes estágios de maturação; (C) Corte transversal do fruto com casca removida; (D) Grão com mucilagem; (E,F) Grãos após secagem com o pergaminho e; (G) Grão cru com a película prateada



Fonte: DURÁN et al. (2017).

## 2.3 Resíduos de café

### 2.3.1 Tecnologias de Processamento

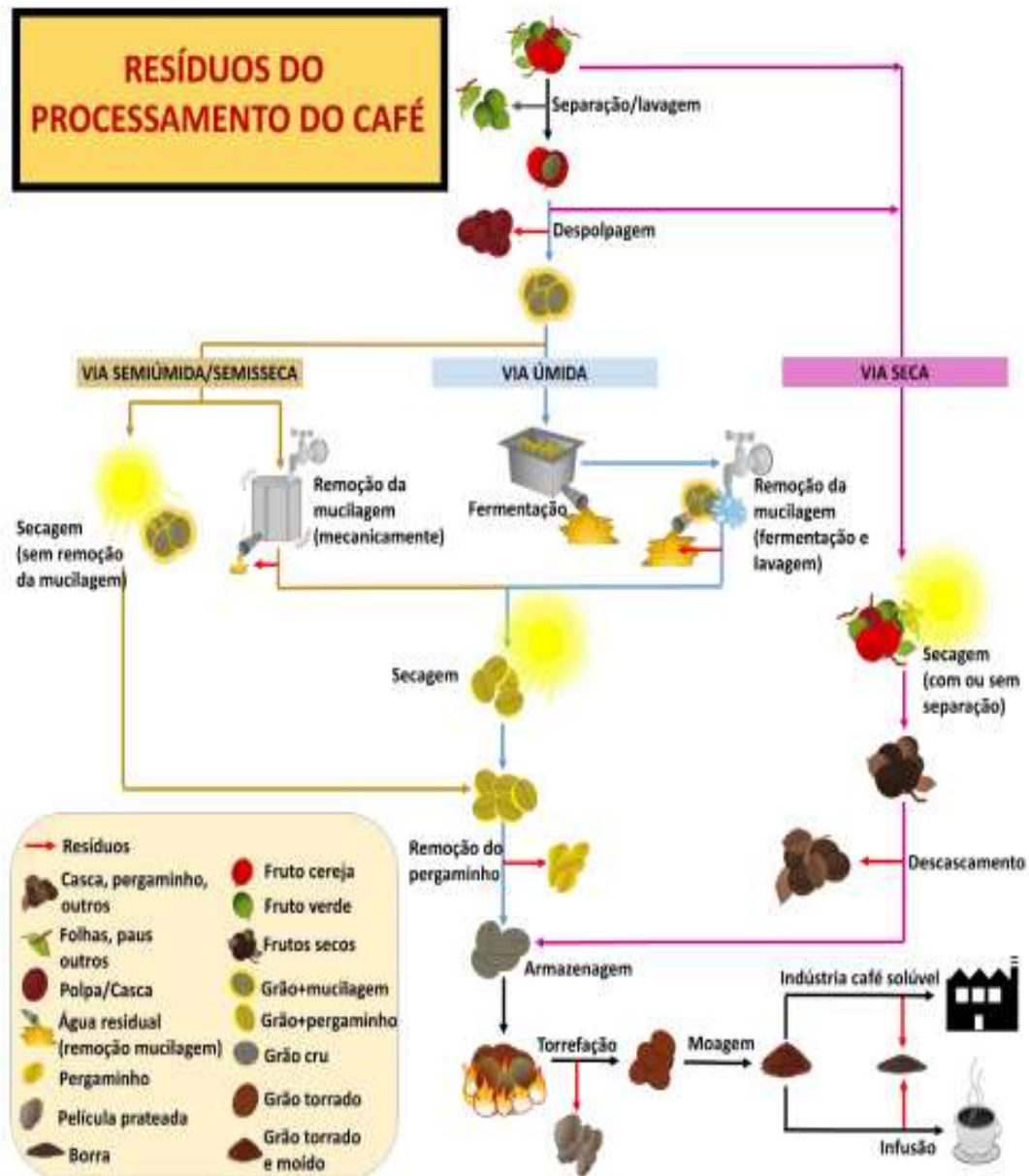
Após a colheita, os frutos de café são submetidos a três tipos de processamento: seco, úmido e semiseco/semiúmido, para obtenção do grão de café cru, com um teor de umidade de 10 a 12% de peso fresco. Esse processamento possibilita a remoção dos constituintes do café, resultando na semente crua, que

após seca, permanecerá viável e metabolicamente ativa para a etapa de torrefação (BYTOF et al., 2007; JOËT et al., 2009).

Cada uma das três vias é responsável pela remoção de alguma das estruturas formadoras do café, que serão consideradas como resíduos após tratamento inicial. A partir da identificação de quais resíduos são gerados e do teor de seus respectivos constituintes químicos (lipídios, carboidratos e proteínas), pode-se determinar qual a via mais apropriada para uma determinada aplicação do café (CHALA et al., 2018).

Ao final do processamento, o grão cru obtido é submetido à torrefação. O café torrado é usado para a produção de café (bebida), cujo principal resíduo é a borra de café. Com aspecto sólido e úmido, a borra é obtida da extração dos componentes solúveis do café (DURÁN et al., 2017). A Figura 3 apresenta o esquema característico de cada uma das três tecnologias de processamento do café e os principais resíduos obtidos em cada via.

Figura 3 - Tecnologias de processamento do café e resíduos gerados



Fonte: DURÁN et al. (2017).

### 2.3.1.1 Via Úmida

Na via úmida, as cerejas de café são submetidas à uma etapa mecânica de remoção da casca, por meio do contato com água, em equipamentos de desintegração. Posteriormente, ocorre a remoção mecânica do mesocarpo, em que as cerejas são despulpadas (remoção da polpa) e a mucilagem é degradada por fermentação natural. Nesta etapa, novamente se utiliza uma grande quantidade de água para lavagem do material. Os grãos resultantes são, então, secos para que o

endocarpo possa ser removido e descartado (JOËT et al., 2009).

#### **2.3.1.2 Via Seca**

Na via seca, os frutos de café são secos ao sol, após colheita, diferentemente do que ocorre na via úmida, em que a secagem é realizada somente ao final do processo. Por essa razão, a via seca é normalmente conduzida em lugares com elevada incidência solar. O processo de secagem pode ser realizado para os dois tipos de grãos (verde e cereja), o que resultará em frutos de café com diferentes graus de maturação. Após a secagem, a casca é mecanicamente removida e o grão cru armazenado (JOËT et al., 2009; DURÁN et al., 2017).

#### **2.3.1.3 Via Semiúmida/Semisseca**

A via de processamento é classificada como via semiúmida ou semisseca quando a remoção da mucilagem não ocorre após a despulpagem das cerejas de café. Todas as demais etapas características da via úmida são observadas na via semiúmida/semisseca (DURÁN et al., 2017).

### **2.3.2 Principais Resíduos de Café utilizados na produção de biocombustíveis**

#### **2.3.2.1 Casca**

A casca de café é um dos principais resíduos sólidos do processamento do café, com uma geração de aproximadamente 1 kg de cascas para cada 1 kg de grãos de café cru processados (GOUVEA et al., 2009). Estima-se que, somente em 2017 no Brasil, cerca de 2,7 milhões de toneladas de casca tenham sido geradas com a produção de café (SANTOS et al., 2018).

A casca de café pode ser empregada como suplemento alimentar de animais, matéria-prima para produção de enzimas, ácidos cítricos e substâncias flavorizantes,

e suporte para o crescimento de cogumelos (MENEZES et al., 2014). Além disso, a casca de café pode ser usada para a produção de biocombustíveis como o bioetanol e o biogás, devido à sua rica composição lignocelulósica. A casca de café pode ser obtida tanto pela via úmida e semiúmida/semiseca, após a colheita do fruto de café, quanto pela via seca, após sua secagem (GOUVEA et al., 2009).

### **2.3.2.2 Polpa**

A polpa de café corresponde à cerca de 40% da massa total do fruto de café, sendo obtida após o processamento dos grãos-cereja nas vias úmida e semiúmida/semiseca (GURRAM et. al, 2015). Grandes quantidades de polpa são obtidas a partir da via úmida. Embora apresente potencial de reaproveitamento, a sua inutilização é ainda observada em diversos países produtores de café, o que representa um desperdício em se tratando de oportunidades e valoração de biomassa residual (SHENOY et al., 2011).

A polpa de café é normalmente utilizada como fertilizante. Porém, outras aplicações têm sido estudadas, como: fonte para combustão direta de combustíveis fósseis, e alimento para gado. Como ração bovina, o aproveitamento da polpa de café apresenta grandes limitações, devido à presença de cafeína e de taninos em sua composição química. Esses compostos são considerados prejudiciais à saúde animal e, portanto, devem ser removidos para uso da polpa como ração (MENEZES et al., 2014).

Quando não aplicada como fertilizante na agricultura, a polpa de café acaba sendo despejada nos recursos hídricos, resultando na poluição das águas, especialmente de regiões próximas às áreas de produção cafeeira (CORRO et al., 2013). Como solução, a polpa de café pode ser usada em processos fermentativos de produção de bioetanol, em que açúcares como glicose, manose e sacarose, presentes em sua composição, podem ser convertidos em álcool combustível (GURRAM et. al., 2015).

### **2.3.2.3 Mucilagem**

A mucilagem do café representa cerca de 7% da polpa do café. Trata-se de um resíduo rico em carboidratos, proteínas e lignina, gerado pela via úmida de processamento do café. Também apresenta potencial como biomassa para a produção de biocombustíveis, devido à presença de açúcares redutores em sua composição, cujo grupo carboxílico livre do aldeído facilita a sua conversão em bioetanol (ORREGO et. al., 2018).

### **2.3.2.4 Borra**

A borra de café é obtida a partir da produção de café líquido (bebida), em que os compostos solúveis que conferem sabor e aroma ao café são extratidos com auxílio de água a elevadas temperaturas. Portanto, esse resíduo é gerado independentemente da via de processamento empregada (DURÁN et al., 2017). Estima-se que cerca de 48% de café torrado e moído utilizados é convertido em borra de café (HERMANN et al., 2019).

A borra de café contém grandes quantidades de compostos orgânicos como proteínas, carboidratos (incluindo polissacarídeos, como a celulose), taninos, fibras, cafeína, ácidos graxos, aminoácidos, polifenóis e lignina (ATTABANI et al., 2019). Por essa razão, dado o seu conteúdo glicídico, a borra de café é considerada uma matéria-prima potencial para a produção de biocombustíveis, além de apresentar uma relação desperdício-energia favorável a esse bioprocessos. Diversos estudos recentes têm investigado o uso da borra de café para a produção de biodiesel, bioetanol e biogás, a partir de diferentes tecnologias de processamento físico-químicas e biológicos (KIM et al., 2016).

## **2.4 Biocombustíveis**

A crescente demanda energética mundial e a dependência a combustíveis fósseis, pouco amigáveis do meio ambiente, têm promovido a busca por alternativas

sustentáveis, capazes de suprir a produção industrial de energia, sem comprometer os ganhos econômicos do setor. Nesse sentido, os biocombustíveis surgem como opções interessantes, uma vez que podem ser obtidos de fontes renováveis (ATTABANI e RUBAYE, 2020).

Além das preocupações ambientais e energéticas, é observado o crescimento da produção agroindustrial de *commodities*, como o café, cujo montante de resíduos é considerável e cuja disposição no ambiente é um problema. Geralmente, os resíduos de café são incinerados ou descartados em aterros, sem a devida valorização de seus componentes (VARDON et al., 2013).

Portanto, a reutilização de *commodities*, como o café na sua forma residual, para a produção de biocombustíveis, como o biodiesel, bioetanol e biogás, é uma estratégia promissora, capaz de gerar benefícios ambientais, sociais e financeiros ao setor de energia (ATTABANI et al., 2019).

## **2.4.1 Tecnologias de produção de biocombustíveis a partir dos resíduos de café**

### **2.4.1.1 Pré-tratamentos**

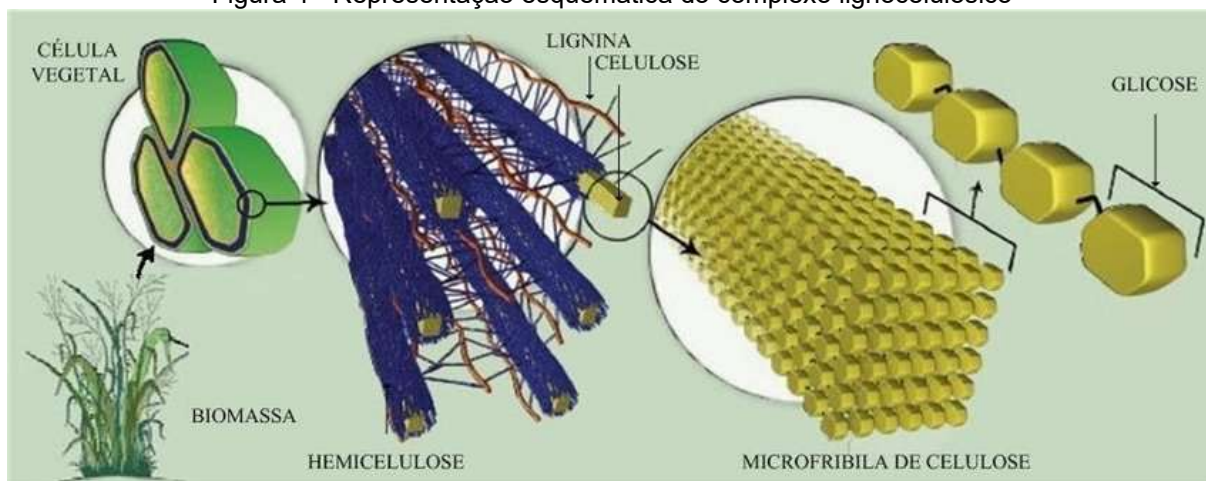
Os resíduos de café são formados por diversos constituintes químicos, sendo os componentes lignocelulósico e lipídico as principais frações utilizadas nos processos de produção de biocombustíveis. Para a adequada conversão desses compostos em biodiesel, bioetanol e biogás, uma etapa prévia de tratamento físico, químico e/ou biológico é necessária (ATTABANI et al., 2019). Independentemente da natureza do pré-tratamento usado, o objetivo desta etapa é romper estruturas químicas constituintes da biomassa de interesse. Para isso, cada tecnologia é baseada na ação de uma determinada força: física (temperatura e pressão), química (ácidos, bases, amônia), e biológica (ação enzimática) (SHENOY et al., 2011).

No caso da fração lignocelulósica, o pré-tratamento é realizado em duas etapas: uma físico-química e uma biológica, devido à elevada resistência do



complexo formado entre lignina, hemicelulose e celulose (SCHUBERT, 2020). A Figura 4 ilustra cada um desses componentes. A celulose e a hemicelulose se apresentam em forma de cadeias, envolvidas pela lignina. A união das microfibrilas de celulose auxiliam na manutenção da rigidez da estrutura celulósica, cuja presença de lignina envolta atua como uma barreira física à invasão de micro-organismos e água (POLI, 2020).

Figura 4 - Representação esquemática do complexo lignocelulósico



Fonte: POLI (2020).

O pré-tratamento do complexo lignocelulósico leva à desagregação ou interrupção de suas interações mantenedoras, de maneira que o acesso e a digestibilidade enzimática e microbiológica sejam favorecidos (SANTOS et al., 2018). Como resultado, duas frações são obtidas: uma sólida, rica em celulose, e uma líquida, composta de hidrolisado de hemicelulose, rica em oligômeros e açúcares C5, como xilose e arabinose (SANTOS et al., 2018).

Para o pré-tratamento da fração lipídica, a extração por solvente é a principal tecnologia usada para obtenção do óleo presente no resíduo de café, cujo teor pode variar entre 7 e 27,8%. Esse teor é comparável ao teor de outras matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel, como: óleo de colza (37-50%), óleo de soja (20%), e óleo de palma (20%). Além disso, o óleo de café consiste principalmente de triglicerídeos, diglicerídeos, monoglicerídeos e ácidos graxos livres que, combinados, representam 85-90% do conteúdo lipídico total (EFTHYMIPOULOS et al., 2017).

O óleo de café extraído com auxílio do solvente não pode ser utilizado diretamente na reação de transesterificação para produção de biodiesel, uma vez que apresenta uma grande quantidade de ácidos graxos livres (>1%), responsável pela produção de sabão e água pelo processo de saponificação. Dessa forma, torna-se necessária a remoção desses ácidos graxos livres para que o óleo possa ser utilizado na rota convencional de produção de biodiesel (MUEANMAS et al., 2018).

#### **2.4.1.1.1 Secagem**

O principal pré-tratamento físico realizado nos resíduos de café é o processo de secagem, uma vez que essa biomassa apresenta elevada umidade, entre 50 e 85%, dependendo da via de processamento empregada (EFTHYMIPOULOS et al., 2017). Para que possa ser utilizado na produção de biocombustíveis, principalmente biodiesel e bioetanol, é necessário que o excesso de água do resíduo seja removido, já que a alta umidade pode comprometer a eficiência dos pré-tratamentos químicos e biológicos posteriores (ATTABANI et al., 2019).

O processo de secagem pode ser realizado em secadores mecânicos ou convectivos. Segundo GÓMEZ-DE LA CRUZ et al. (2014), o tempo de secagem nesses equipamentos apresenta comportamento inverso com a temperatura e direto com a espessura da amostra a ser secada. Isso significa que à medida que a temperatura aumenta e a espessura da amostra diminui, o tempo de secagem diminui.

#### **2.4.1.1.2 Extração por solvente**

A extração por solvente é um dos tipos de pré-tratamento físico-químicos mais utilizados para a recuperação do óleo de café, cujo rendimento depende do método de extração, do teor de umidade, do tamanho das partículas, do tipo e volume de solvente, e do tempo de extração empregados (MUEANMAS et al., 2018).

A extração por solvente *Soxhlet* tem sido amplamente reportada em

diferentes trabalhos científicos usando resíduos de café, sendo o n-hexano o solvente de maior eficácia empregado no método (EFTHYMIPOULOS et al., 2017). A extração de *Soxhlet* é caracterizada por um processo intermitente, que trabalha com refluxo de solvente a quente. Nesse método, a amostra deve ser previamente dessecada e pesada. Apesar de ser a técnica mais utilizada, trata-se de uma metodologia relativamente demorada, que requer uma quantidade maior de solvente e energia para completar a extração, além de apresentar baixa produtividade (AL-HAMAMRE et al., 2012).

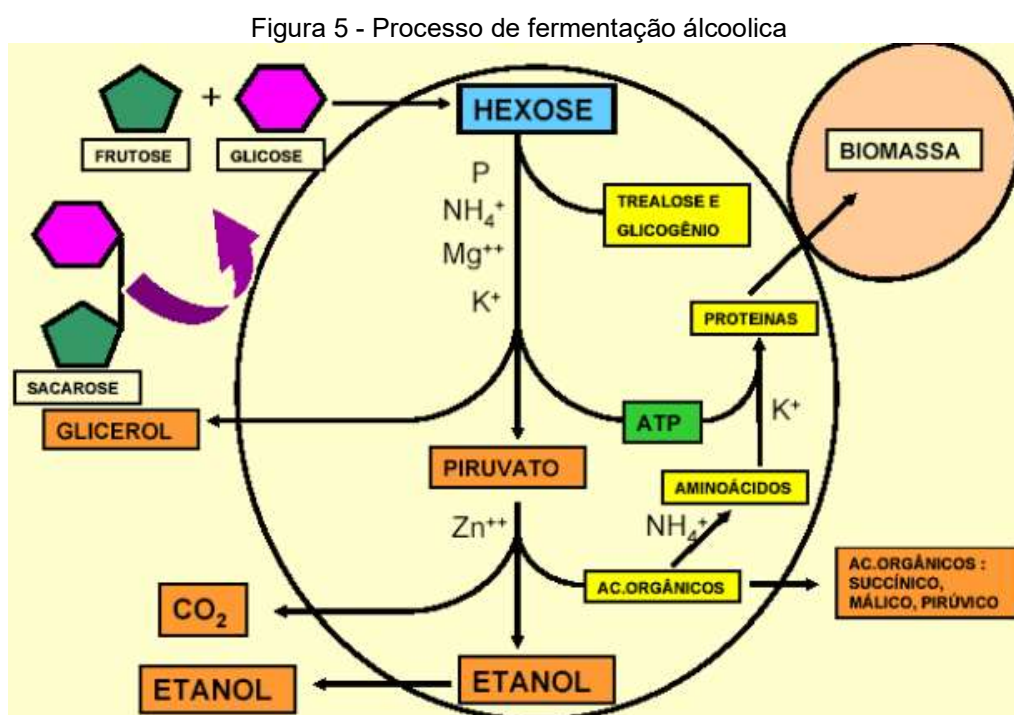
Outro tipo de extração por solvente bastante investigado é a extração assistida por ultrassom. Esse método permite extrair óleo de matérias-primas com alta ou baixa umidade, a um baixo custo energético, uma vez que utiliza a energia das ondas sonoras de altas frequências para criar uma vibração única. Como consequência, uma variação de pressão no composto é observada, resultando no fenômeno de cavitação (ROCHA et al., 2014).

#### **2.4.1.1.3 Hidrólise Enzimática**

A hidrólise enzimática é uma alternativa biotecnológica usada para disponibilizar os açúcares fermentescíveis presentes na fração lignocelulósica dos resíduos de biomassa, incluindo os resíduos de café, após pré-tratamento físico-químico. Trata-se de um método envolvendo o uso de enzimas, como a celulase e a hemicelulase, sintetizadas por bactérias e por fungos, que agem sobre a celulose e a hemicelulose, respectivamente (MENEZES et al., 2014). Fatores como a baixa porosidade (área de baixa superfície), a cristalização da fibra de celulose e a concentração de hemicelulose e lignina do material são capazes de afetar a hidrólise enzimática, limitando a conversão dos polissacarídeos em açúcares de cadeia simples (POLI, 2020).

### 2.4.1.2 Fermentação

Após o pré-tratamento físico-químico e a hidrólise enzimática da biomassa lignocelulósica, o processo fermentativo pode ser realizado para a produção do bioetanol. (POLI, 2020). A Figura 5 apresenta o esquema da fermentação, em que é observada a conversão de um carboidrato (neste caso, glicose) em álcool etílico e dióxido de carbono, além dos subprodutos dessa via metabólica.



Fonte: DIAS (2021).

A fermentação é um processo biológico, realizado pela ação de micro-organismos, em que subprodutos, como glicerol e ácidos orgânicos, podem ser produzidos, dependendo da via metabólica utilizada (SHENOY et al., 2011). O micro-organismo mais utilizado na produção de bioetanol é a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, que apresenta uma elevada produtividade, sendo reportada em diferentes estudos sobre a produção desse biocombustível (SCHUBERT, 2020).

Para efeito de controle de processo, por ser uma reação em que se utiliza

micro-organismos, é necessário que as condições de cultivo sejam garantidas e otimizadas, como pH do meio, temperatura e suplementação de nutrientes. Com isso, garantem-se o crescimento celular e a formação do produto de interesse, neste caso, o bioetanol (POLI, 2020).

O uso dos resíduos de café nos processos fermentativos é bastante atrativo, uma vez que representa uma biomassa de baixo custo e elevada abundância (MUSSATTO et al., 2012). Além disso, apresentam alto teor de açúcares fermentescíveis, variando, por exemplo, de 23 a 27% somente na polpa de café (SHENOY et al., 2011).

#### **2.4.1.3 Co-digestão anaeróbica**

A digestão anaeróbica (DA), responsável pela conversão de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono gasosos na ausência ou baixa presença de oxigênio, é considerada um método prático para recuperação de energia de resíduos de biomassa. Este método é relatado desde a década de 80, sob diferentes configurações, sendo bastante aplicada até final da década de 90 (SANTOS et al., 2018).

Durante o processo de DA, a matéria orgânica é degradada e convertida por micro-organismos em biogás e lamas de digestão. Para que isso se realize, são necessárias 4 etapas, que envolvem reações biológicas complexas (ABAD, 2015). Essas etapas estão descritas abaixo:

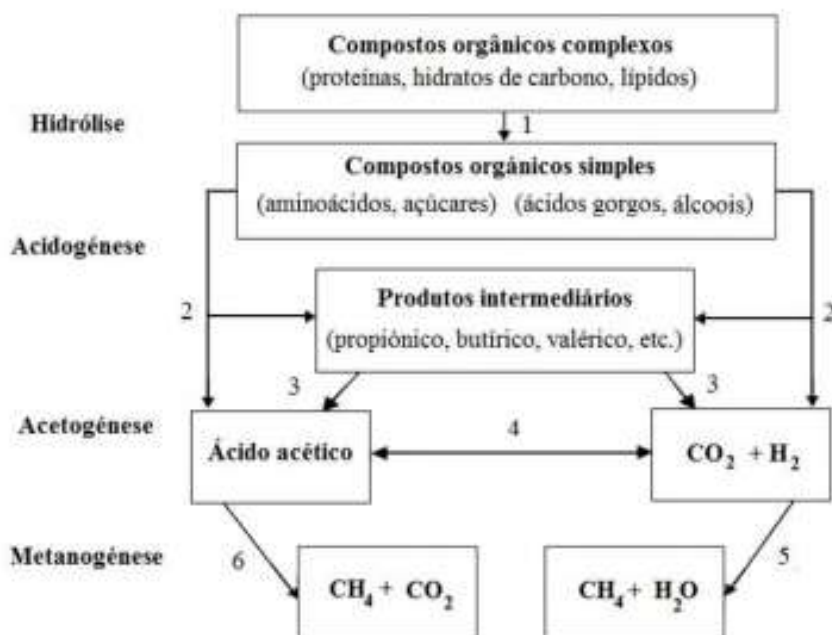
- 1) Hidrólise - Macromoléculas (neste caso, celulose) são convertidas, por meio da catálise de exoenzimas (hidrolases) liberadas por bactérias hidrolíticas, em monômeros solúveis, como açúcares, neste caso, a glicose.
- 2) Acidogênese – A partir dos produtos hidrolisados, é realizada sua conversão em moléculas simples de baixo peso molecular como ácidos graxos voláteis (ácido propiónico, ácido butírico e ácido valérico), ácidos lácticos, álcoois (etanol), aldeídos e gases como CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>.
- 3) Acetogênese - Os gases gerados na etapa anterior, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>, são reduzidos à ácido acético, pela ação de micro-organismos acetogênicos.
- 4) Metanogênese - Etapa final, em que os micro-organismos metanogênicos

processam um número reduzido de substratos e realizam as reações principais, com intuito de obter o produto de interesse (metano). Cerca de 70% do metano resulta da reação com o acetato, enquanto os outros 30% resultam do  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$ .

Para o caso da biomassa lignocelulósica, presente nos resíduos de café, a hidrólise é a fase limitante do processo e determina a capacidade da carga orgânica da DA, devido à complexidade desse composto orgânico (ABAD, 2015).

Na Figura 6, está ilustrado o processo de digestão anaeróbica descrita de forma simplificada, indicando os compostos de cada etapa e os micro-organismos envolvidos. O uso de micro-organismos específicos para o pré-tratamento de resíduos auxilia no aumento do rendimento e da estabilidade dos produtos do biogás (CORRO et. al., 2013).

Figura 6 - Processo simplificado da digestão anaeróbica



Tipos de bactérias: (1) fermentativas, (2) acidogénicas, (3) acitogénicas produtoras de hidrogênio, (4) homoacetogénicas, (5) metanógenos hidrogenotróficos, (6) metanógenos metilotróficos

Fonte: ABAD (2015) (adaptado de Suárez, 2014).

Com o desenvolvimento e o avanço tecnológico, percebeu-se que a DA,

especialmente quando utilizada com o resíduo de café, apresenta uma limitação em termos de estabilidade a longo prazo. Para superar esse problema, a co-digestão anaeróbica, tradicionalmente utilizada para o tratamento de lodo de esgoto, resíduos de alimentos e de outros materiais agroindustriais, tem sido empregada, considerando diferentes configurações de reator e variadas temperaturas operacionais (KIM et al., 2016). A co-digestão anaeróbica é definida como a digestão simultânea de dois ou mais resíduos de biomassa sob baixas concentrações de oxigênio, que contribui para uma melhor digestibilidade dos compostos orgânicos (CORRO et. al., 2014).

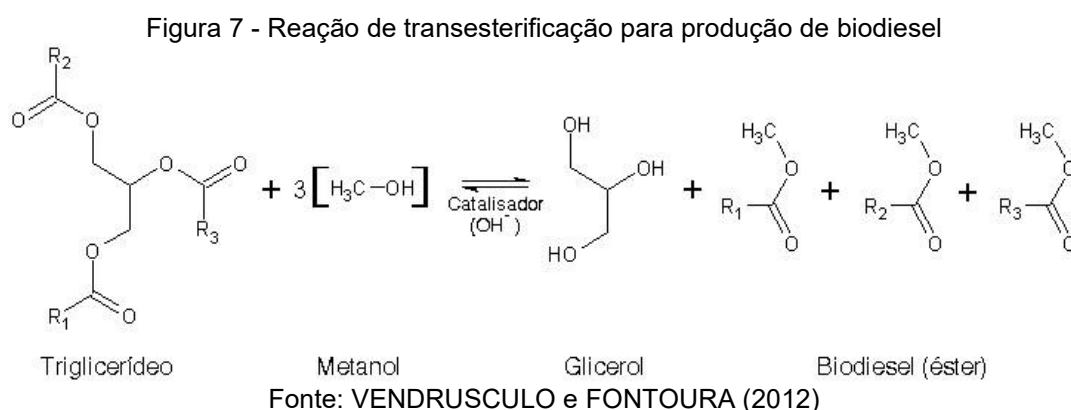
A co-digestão anaeróbica apresenta vantagens sobre a DA tradicional, como desempenho mais eficiente e mais estável. No caso do café, a co-digestão anaeróbica apresenta menor propensão a falhas, mesmo quando a alcalinidade e os micronutrientes são fornecidos (SANTOS et al., 2018).

Além disso, a co-digestão anaeróbica pode ser benéfica à viabilidade e estabilidade do processo, uma vez que é capaz de equilibrar a razão C/N da matéria-prima, remediar a deficiência de elementos-traço, melhorar a capacidade tamponante do sistema, e diluir possíveis compostos inibitórios (KIM et al., 2016). No caso dos resíduos de café, a co-digestão anaeróbica auxilia na diluição de compostos como cafeína, fenóis livres e taninos presentes na polpa de café, melhorando o equilíbrio nutricional e promovendo um efeito sinérgico positivo no crescimento microbiano (CORRO et. al., 2013).

A tecnologia de produção de biogás oferece uma rota atraente para o aproveitamento de diferentes biomassas, sobretudo, residuais, capaz de atender às necessidades parciais de energia. Ademais, o bom funcionamento desse bioprocessos pode proporcionar múltiplos benefícios aos usuários e à comunidade, resultando em conservação de recursos naturais e proteção ambiental (YADVIKA, 2004).

#### 2.4.1.4 Transesterificação

Após a etapa de extração, a fração lipídica dos resíduos de café é submetida ao processo de transesterificação para produção de biodiesel. A transesterificação é definida como a reação entre um éster e um álcool, originando um novo éster e um novo álcool. No caso do biodiesel, essa reação é dada entre um triglicerídeo e um álcool, geralmente metanol ou etanol. Por si só, a cinética reacional é lenta, o que requer o uso de catalisadores e um excesso de álcool para torná-la viável e eficiente (KIM et al., 2020) (Figura 7).



Além disso, a reação de transesterificação é de natureza reversível, ocorrendo em três passos sucessivos: conversão de triglicerídeos em diglicerídeos; conversão de diglicerídeos em monoglicerídeos; e conversão de monoglicerídeos em ésteres e glicerol. Da transesterificação de um mol de triglicerídeos, há a formação de três mols de ácido graxo mono-álquil éster (biodiesel) e um mol de glicerol, considerado um co-produto. Catalisadores alcalinos homogêneos fortes são normalmente usados na produção industrial (CAETANO et al., 2012).

No caso dos resíduos de café, três métodos são comumente utilizados para produção do biodiesel: o processo de três etapas; e a transesterificação direta ou *in situ* (MUEANMAS et al., 2018). A Figura 8 apresenta um esquema das diferentes configurações da reação de transesterificação.

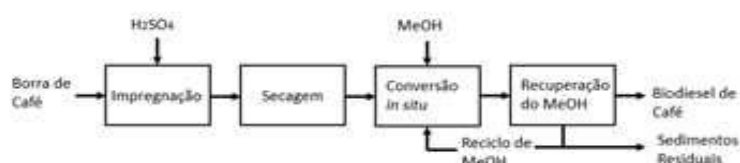


Figura 8 - Configurações da reação de transesterificação usada com resíduos de café

### Método Convencional de três etapas



### Método *In situ*



Fonte: Adaptado de LIU et al. (2017).

O processo de três etapas é comumente conhecido como método convencional, formado pelas etapas de extração por solventes, esterificação e transesterificação. Nesse método, é uma etapa de pré-tratamento (secagem e extração por solvente) é realizada para se obter um maior teor de óleo. Após a extração lipídica, a reação de esterificação ácida, seguida da reação de transesterificação básica, são realizadas, resultando na produção de biodiesel. A transesterificação convencional pode ser mais custosa por demandar mais etapas (LIU et al., 2017).

Por fim, o método de transesterificação direta, também chamado de transesterificação *in situ*, é caracterizado pela combinação das etapas de extração por solventes, esterificação e transesterificação em um único passo. Esse método tem sido utilizado com várias matérias-primas para produção de biodiesel, como soja e algas. A transesterificação *in situ* permite uma produção mais rápida do biodiesel atribuída a um único reator de processo, que leva à simultânea extração e transesterificação, atingindo o mesmo rendimento que a transesterificação convencional, porém com um menor custo energético (PARK et al., 2016; ATTABANI et al., 2019).

O processo de esterificação antes da transesterificação é uma forma de reduzir o alto teor de ácidos graxos livres, uma vez que esses irão reagir com o álcool na presença de um catalisador ácido (MUEANMAS et al., 2018).

## **2.4.2 Tipos de biocombustíveis obtidos a partir dos resíduos de café**

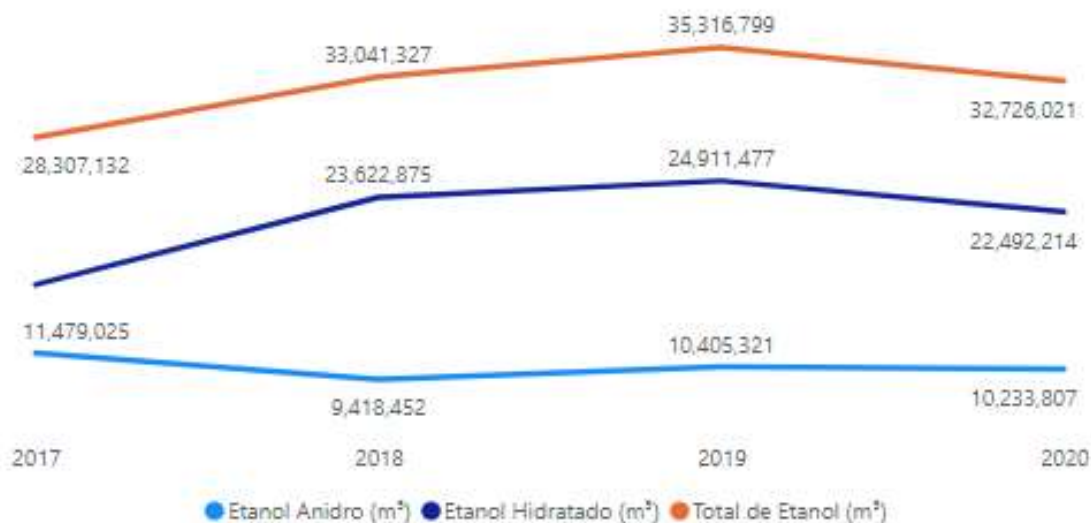
### **2.4.2.1 Bioetanol**

O bioetanol é um combustível renovável obtido através da fermentação de biomassa proveniente de produtos vegetais como o bagaço da cana-de-açúcar, trigo, milho e, como apresentado neste trabalho, resíduos de café. O bioetanol e o etanol possuem a mesma composição química, apresentando características idênticas. A diferença surge da forma de obtenção de cada um deles. Enquanto o bioetanol é obtido a partir do processamento de biomassa, o etanol é gerado a partir de derivados do petróleo (POLI, 2020).

O bioetanol apresenta um histórico de utilização como combustível de transporte. Ele pode ser consumido em veículos automotivos de duas formas: como combustível puro, conhecido como álcool hidratado; e como uma mistura com a gasolina, sendo conhecido como álcool anidro (SCHUBERT, 2020).

A produção de etanol no Brasil tem apresentado um cenário de crescimento, seguido de estabilização, nos últimos três anos. De 2017 a 2019, foi verificado um aumento de 24% no valor total produzido de etanol combustível, o que representa um aumento absoluto de cerca de 28,3 milhões de metros cúbicos em 2017 para 35,3 milhões de metros cúbicos em 2019. Em 2020, uma pequena redução da produção total de etanol combustível foi observada, se comparada à 2019, devido aos impactos causados pela pandemia da COVID-19 (ANP, 2020). O gráfico da Figura 9 apresenta as produções de etanol anidro e hidratado, em separado e em conjunto, dos últimos três anos.

Figura 9 - Produção brasileira de etanol combustível entre 2017 e 2020



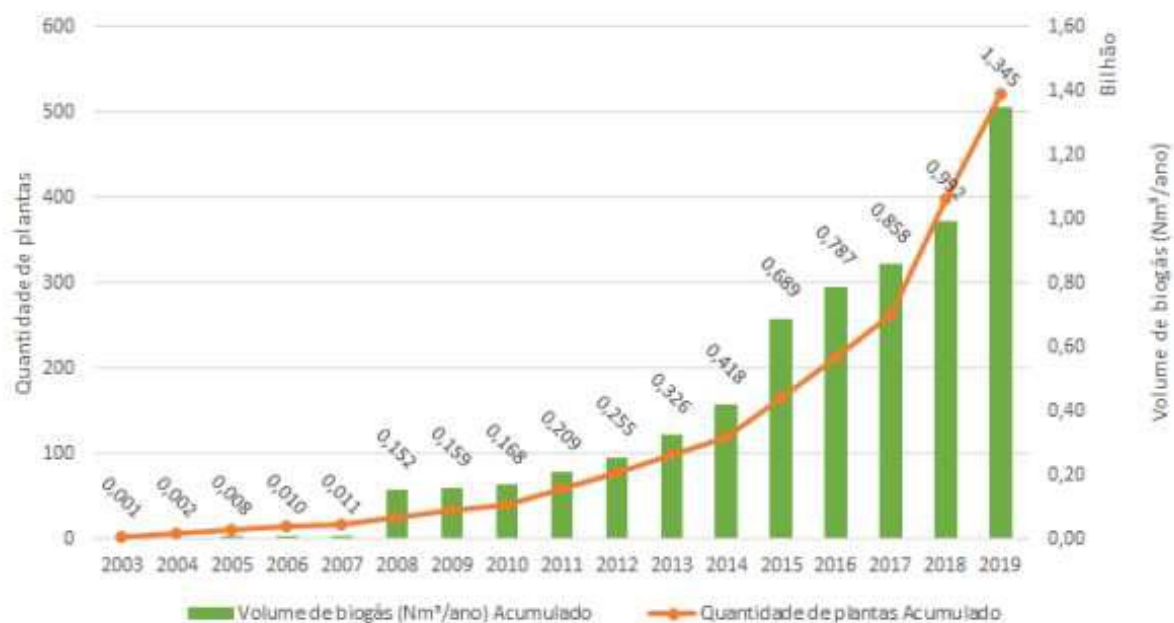
Fonte: ANP (2020).

#### 2.4.2.2 Biogás

O biogás é um biocombustível produzido a partir da decomposição de materiais orgânicos (vegetais ou animais) na ausência ou baixa concentração de oxigênio, cuja composição majoritária é dada pelo gás metano. O uso de biomassa agrícola para a produção de biogás tem aumentado nos últimos anos, sendo as principais culturas utilizadas o milho, a cana-de-açúcar e os resíduos de café, em especial a polpa e a casca (CORRO et. al., 2013).

O setor energético do biogás vem crescendo de forma exponencial no Brasil. Há um movimento de aumento no número de plantas em operação desde 2003, o que gerou um crescimento expressivo no volume produzido de biogás nos últimos anos, tendo de 2014 a 2015 um crescimento de 65% no volume de biogás, e de 2018 a 2019, um crescimento de 36% (CIBiogás, 2020). Na Figura 10 está representado esta relação do crescimento de número de plantas em operação com o aumento do volume de biogás produzido.

Figura 10 - Volume de biogás produzido no Brasil e quantidade de plantas em operação por ano



Fonte: CIBiogás (2020).

#### 2.4.2.3 Biodiesel

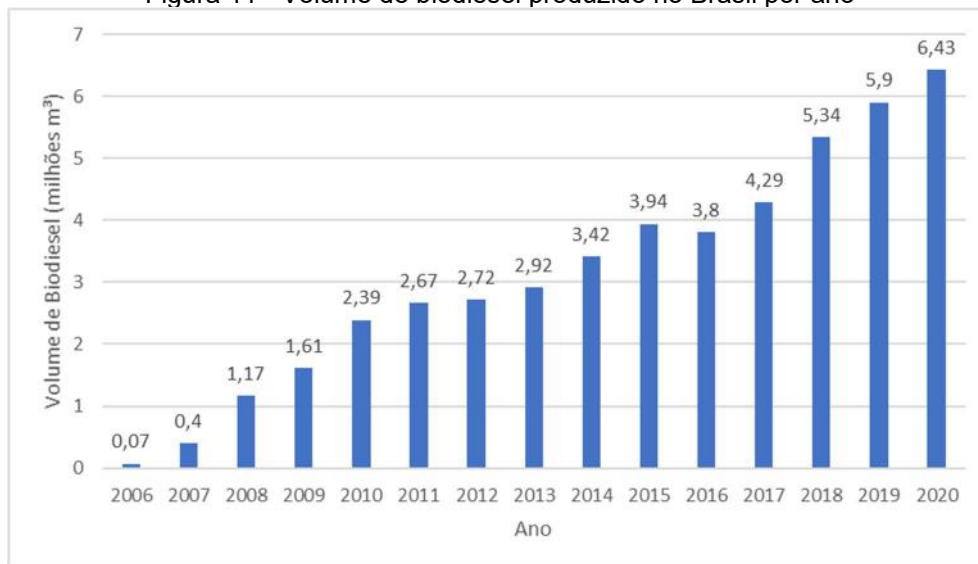
O biodiesel é um combustível renovável, composto por mono-ésteres de ácidos graxos, obtido pelo processo de transesterificação ou esterificação de óleos e gorduras, classificados como lipídios. Sua produção tem se tornado cada vez mais viável, devido à sua utilização em alternativa ou em adição ao diesel, o que tem contribuído para a redução da dependência energética a combustíveis fósseis, além de reduzir os impactos causados ao meio ambiente (CAETANO et al., 2014).

Em 2004, foi criado, no Brasil, o PNPB (Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel), com o objetivo de estimular a diversificação nacional de matérias-primas utilizadas na produção do biodiesel. Pretendia-se, à época, desenvolver a produção de biodiesel nas regiões Norte, Nordeste, especialmente o semiárido, de modo a alavancar a economia dessas regiões e criar alternativas à utilização da soja na produção de biodiesel, principalmente por meio da utilização dos óleos de mamona e de palma (RIBEIRO et al., 2018).

A produção de biodiesel no Brasil tem crescido de forma significativa nos últimos anos, apresentando um aumento de 266,7% entre 2008 e 2017, e 49% entre 2017 e 2020 (ANP, 2020). O Brasil ampliou sua produção, mostrando uma evolução

da cultura da sustentabilidade e da preocupação com o meio ambiente (RIBEIRO, et al., 2018).

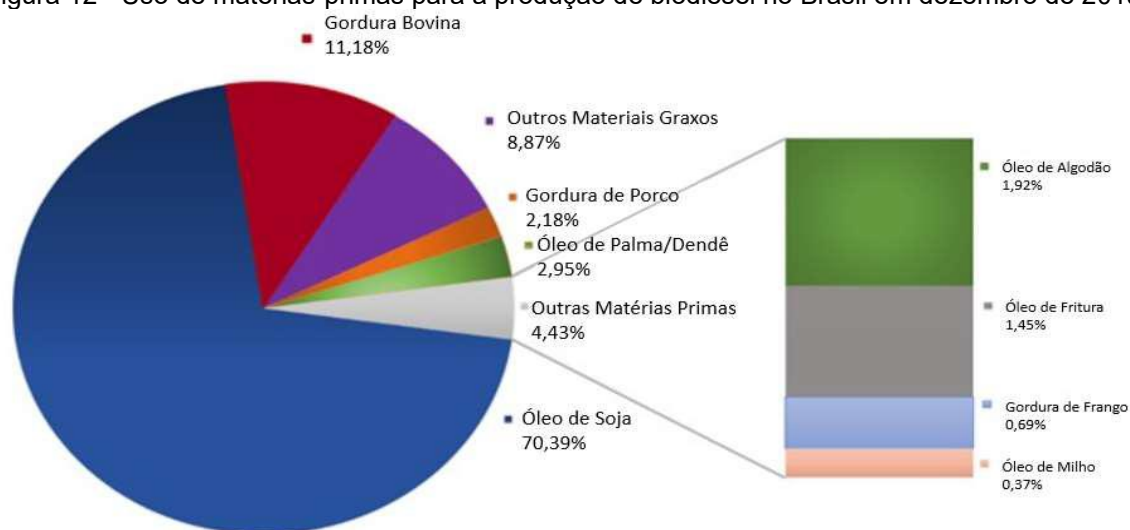
Figura 11 - Volume de biodiesel produzido no Brasil por ano



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos da ANP (2020).

A principal matéria-prima utilizada no Brasil para produção de biodiesel é o óleo de soja. Em dezembro de 2019, essa biomassa foi responsável por 70% da produção nacional de biodiesel, enquanto os óleos de mamona e de palma não foram utilizados, o que demonstrou que o plano do Pró-biodiesel não se concretizou como se esperava. O domínio da soja pode ser observado na Figura 12. Desde o começo da produção de biodiesel no Brasil, a dependência pela soja é observada junto à cadeia de produção desse biocombustível (ANP, 2020).

Figura 12 - Uso de matérias-primas para a produção de biodiesel no Brasil em dezembro de 2019



Fonte: ANP (2020).

Segundo MENEZES et al. (2016), a dependência à soja deve perdurar pelos próximos dez ou quinze anos. Consequentemente, a produção econômica de biodiesel acaba atrelada à uma oleaginosa, considerada uma *commodity*, de cotação internacional e usada também como alimento pela indústria deste segmento (RIBEIRO et al., 2018).

A partir dessa perspectiva, justifica-se a importância da busca pela diversificação de matérias-primas na produção de biodiesel e a oportunidade de exploração de novas fontes ainda em desenvolvimento. A valorização dos resíduos de café é uma alternativa promissora para produção de biodiesel. Os resíduos do café possuem alto teor lipídico, aproximadamente 15% em peso seco (VARDON et al., 2013). Além disso, o óleo de café possui maior estabilidade e melhor relação custo-eficiência, quando comparado a outros óleos de resíduos disponíveis (ATTABANI et al., 2019).

## **CAPÍTULO 3**

## **PROSPECÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA**

A prospecção técnico-científica é o conjunto de estudos e análises realizados para se obter conhecimento sobre uma determinada tecnologia de interesse, tendo como objetivo antecipar e entender as tendências e perspectivas do seu desenvolvimento, visando à inovação. Por sua vez, a inovação é a introdução de novidade ou aperfeiçoamento no ambiente produtivo e social que resulte em novos produtos, serviços ou processos, ou que compreenda a agregação de novas funcionalidades e características a um dado produto, serviço ou processo já existente. Seu objetivo é contribuir para a melhoria e para o ganho efetivo de qualidade ou desempenho de organizações. Por isso, são de grande importância a Empresas e Centros de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) (COELHO, 2003).

Segundo BORSCHIVER et. al. (2016), a análise prospectiva é o conjunto de conceitos e técnicas utilizadas para se indicar o comportamento das variáveis socioeconômicas, políticas, culturais e tecnológicas, bem como o efeito de suas interações, sendo vistos como a primeira etapa do planejamento em diferentes pontos de espaços temporais. Trata-se de uma metodologia capaz de auxiliar a identificação de tecnologias desejadas pelas organizações e descobrir possíveis negócios e parcerias futuros

O mapeamento de informações tecnológicas pode ser realizado por meio de buscas de patentes e artigos científicos, com objetivo de gerar informações sobre a trajetória passada, presente e sobre as tendências futuras do mercado (OLEGÁRIO e SANTOS, 2014). A realização da pesquisa científica (artigos) e da pesquisa sobre inovação tecnológica (patentes) oferece vantagens ao pesquisador por prover mais dados e auxiliar nas tomadas de decisão e planejamento presente do uso de recursos no futuro (COELHO, 2003).

A pesquisa científica se vale da publicação de artigos científicos para propagação de resultados para a comunidade acadêmica, sendo instrumentalizada e organizada com métodos que garantem o rigor, a qualidade e a originalidade dos estudos (ARAÚJO e CHUERI, 2018). Os artigos científicos são, portanto, utilizados

como meios de transmissão do conhecimento, feito por pesquisadores, que podem ser utilizados para o planejamento de novas pesquisas e validação de conhecimentos anteriores. Como forma de garantir a autoria de quem desenvolveu as pesquisas, é necessário a divulgação em plataformas formais como periódicos de editoras conceituadas (PIZZANI et al., 2018).

Em relação à pesquisa tecnológica, as patentes representam uma rica fonte de informações sobre tendências mercadológicas, sendo consideradas o documento com maior nível de detalhamento de informação de caráter técnico disponível em todo o mundo. Além disso, a análise de patentes concedidas e solicitadas é um importante indicador de inovação. Avaliando-se a quantidade, os países detedores da tecnologia, e a evolução histórica das publicações, é possível definir quais direções as mudanças tecnológicas estão seguindo e seguirão no futuro (ALENCAR et. al., 2007).

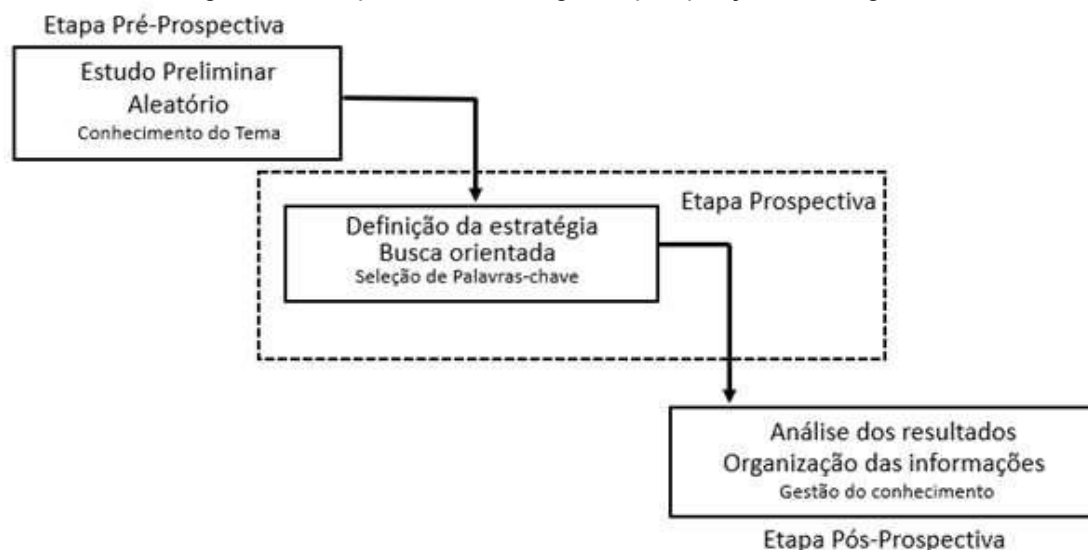
Além da coleta de dados, a prospecção tecnológica requer uma etapa analítica, considerada crucial e de grande importância. A avaliação dos dados coletados depende da interpretação do especialista que os prospectou, para que possam ser selecionadas as informações realmente relevantes ao tema e área de pesquisa ou atuação. Portanto, a metodologia de prospecção tecnológica tem como finalidade a gestão da informação, por meio da identificação de oportunidades que orientarão as tendências futuras do Mercado (BORSCHIVER et al., 2016).



## CAPÍTULO 4 METODOLOGIA

O levantamento prospectivo realizado neste estudo foi feito de acordo com a metodologia proposta por BORSCHIVER et al. (2016), caracterizada por três etapas: pré-prospectiva, prospectiva e pós-prospectiva, como ilustrado na Figura 13.

Figura 13 - Etapas da metodologia de prospecção tecnológica



Fonte: BORSCHIVER et al. (2016).

A etapa pré-prospectiva se refere ao estudo realizado de forma preliminar sobre o tema de trabalho, neste caso, a produção de biocombustíveis a partir de resíduos de café. Nessa etapa também é definido o escopo e as palavras-chaves de busca que serão utilizadas durante a fase prospectiva.

A etapa prospectiva consiste na busca de documentos técnicos e científicos a partir das palavras-chave definidas na etapa anterior, correlacionadas por conectores Booleanos (*AND*: resultados encontrados devem conter todos os termos da busca; *OR*: resultados encontrados devem conter pelo menos um dos termos da busca).

A etapa pós-prospectiva corresponde à análise e divulgação das informações coletadas, que pode ser feita mediante construção de gráficos, mapas tecnológicos e demais metodologias de exposição de resultados. Neste estudo, as prospecções científica (artigos científicos) e tecnológica (patentes) foram empregadas para a

coleta de informações.

#### **4.1 Estratégia de busca de artigos**

A estratégia de busca de artigos foi definida pelas seguintes etapas:

- i) Definição de palavras-chaves e conectores Booleanos;
- ii) Busca de documentos em uma base de dados confiável e de referência;
- iii) Exclusão dos documentos fora do escopo da busca;
- iii) Definição de taxonomias e classificações das informações em três níveis de detalhamento: Macro, Meso e Micro;
- iv) Análise dos resultados encontrados e exposição na forma gráfica.

##### **4.1.1 Etapa Pré-prospectiva**

A base de dados escolhida para a pesquisa dos artigos científicos foi a *Web of Science*, mantida pela *Clarivate<sup>TM</sup> Corporation*. Essa base foi escolhida por possuir dados de contagem de citações integrados ao *Journal Citation Reports* (JCR), usados em cálculos de fator de impacto e outras métricas, sendo, portanto, uma fonte de alta credibilidade (CAPES, 2021). Além disso, é formada por mais de 12.000 revistas acadêmicas de alta qualidade revisadas por pares e publicadas em todo mundo, incluindo periódicos de acesso aberto e mais de 148.000 processos de conferências (CLARIVATE, 2020). A base *Web of Science* foi acessada por meio do Portal de Periódicos Capes.

A escolha das palavras-chave teve como principal objetivo obter o maior número de artigos referentes ao tipo de resíduo de café utilizado para a produção de biocombustível, especialmente, bioetanol, biogás e biodiesel. Diferentes estratégias de associação das palavras-chaves foram realizadas para tornar a busca mais eficiente.

Dois conjuntos de palavras-chave foram criados, como apresentados nos Quadros 2 e 3. No primeiro conjunto, as palavras escolhidas fizeram referência aos tipos de resíduos de café existentes, enquanto o segundo conjunto foi formado por palavras relacionadas aos tipos de biocombustíveis de interesse.

Quadro 2 - Palavras-chaves referentes aos resíduos de café

<i>Residue coffee</i>
<i>Spent coffee</i>
<i>Husks coffee</i>
<i>Waste coffee</i>
<i>Coffee pulp</i>
<i>Coffee mucilage</i>
<i>Coffee parchment</i>

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 3 - Palavras-chaves referentes aos biocombustíveis

<i>Biogas</i>
<i>Biodiesel</i>
<i>Bioethanol</i>
<i>Ethanol</i>
<i>Biofuel</i>
<i>Bioconversion</i>
<i>Bioenergy</i>

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.1.2 Etapa Prospectiva

A partir da definição das palavras-chaves, uma tabela de escopo foi construída para realizar a contabilização dos documentos obtidos em cada estratégia de busca empregada: por títulos, em que foram encontrados artigos contendo as palavras-chave apenas no título, e por tópicos, em que foram considerados o resumo e *keywords* (palavras-chave de indexação), além do título em cada documento

A seguinte estratégia de busca foi utilizada:

-Critério de busca: títulos e resumos de artigos científicos;

-Faixa temporal: de 1981 à agosto de 2021;

-Combinação de palavras-chaves: (*Residue Coffee OR Spent Coffee OR Husks Coffee OR Waste Coffee OR Coffee Pulp OR Coffee Mucilage OR Coffee parchment*) AND (*Biogas OR Biodiesel OR Bioethanol OR Ethanol OR Biofuel OR Bioconversion OR Bioenergy*).

#### 4.1.3 Etapa Pós-prospectiva

A análise dos resultados obtidos na pesquisa foi realizada com auxílio de uma planilha de dados, em que a informações foram organizadas em três níveis:

**Análise Macro:** são analisadas informações primárias dos documentos, como: cronologia de publicação, autores, país de origem dos autores, universidades/centro de pesquisas;

**Análise Meso:** os documentos são classificados segundo aspectos mais relevantes acerca da tecnologia estudada, dos produtos e de suas aplicações, por meio da definição de taxonomias que representam a informação de interesse;

**Análise Micro:** características e particularidades de cada uma das taxonomias anteriormente definidas são elencadas, a fim de se obter um panorama geral de oportunidades e tendências tecnológicas, com base na leitura mais aprofundada de cada documento.

As taxonomias propostas neste estudo foram detalhadas em três partes: Meso, Micro 1 e Micro 2. A definição de duas classificações nível micro permitiram um maior aprofundamento e detalhamento do tema em estudo. O Quadro 4 apresenta as taxonomias propostas.

## 4.2 Estratégia de busca de patentes

As patentes são documentos que conferem ao seu titular o direito de utilizar uma invenção/tecnologia de forma exclusiva no Mercado, por um período limitado de tempo, em um determinado país. Em troca dessa exclusividade, os detentores das patentes fornecem a descrição completa de suas invenções. Sendo assim, as patentes são uma das maiores fontes de informação e inovação do mundo, sendo uma valiosa ferramenta para identificação de novas tecnologias, processos e produtos, principalmente na área de PD&I (BORSCHIVER e SILVA, 2016).

Para este trabalho, as buscas por patentes foram realizadas na base de dados *LENS*, de acesso gratuito. O banco de dados do *LENS* permite a organização das informação, por meio da criação de pastas e classificações das patentes de interesse, o que facilita a identificação dos documentos mais relevantes ao tema. Com mais de 20 anos de desenvolvimento, o *LENS* ingere, limpa, agrega, normaliza e atende mais de 225 milhões de trabalhos acadêmicos, mais de 127 milhões de registros globais de patentes e mais de 370 milhões de sequências de patentes, com metadados ricos, incluindo pessoas e instituições que geram esse conhecimento e os vínculos entre eles, extraídos de diversas fontes de dados (LENS, 2021).

A estratégia de busca de patentes foi similar à busca de artigos científicos. As análises Macro, Meso e Micro, bem como as taxonomias empregadas e a análise de dados, com auxílio de uma planilha de dados, foram iguais às empregadas com artigos científicos. Não foi necessária a adição de nenhuma taxonomia nova (Quadro 4).

Quadro 4 - Taxonomias Meso, Micro I e Micro II

Meso	Micro I	Micro II
Resíduos do processamento de café	Via Seca	Casca
	Via Semisseca/semiúmida	Mucilagem
	Via Úmida	Polpa Mucilagem
	Via Facultativa	Borra Película de prata
Composição dos resíduos de café	Fração lignocelulósica	
	Fração lipídica	
Pré-tratamento	Físico	Secagem
	Físico-químico	Ácido-Base Micro-ondas/ultrassom Extração por solvente Outros
	Biológico	Hidrólise enzimática
Processo de conversão	Fermentação	
	Co-digestão anaeróbica	
	Esterificação	
	Transesterificação	Convencional <i>In-situ</i>
Biocombustível	Bioetanol	
	Biodiesel	
	Biogás	

Fonte: Elaboração própria.

## CAPÍTULO 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Artigos Científicos

Foram encontrados 133 artigos científicos no período de 1981 a Agosto de 2021, sendo a última busca realizada no dia 28 de agosto de 2021. A partir desse montante, foi feita a leitura e análise dos artigos encontrados para entender quais estavam relacionados à temática proposta de biocombustíveis: artigos que reportavam o uso de resíduos de café como matéria-prima para a produção de bioetanol, biogás e biodiesel. Feita essa análise, foram retirados os documentos que não se enquadraram na temática, restando 90 artigos de interesse para a análise de prospecção técnico-científica. Com essa base consolidada, as análises Macro, Meso e Micro foram realizadas.

#### 5.1.1 Análise Macro

A Análise Macro para artigos científicos apresentou o estudo da distribuição da publicação de artigos por ano, país de origem dos autores, e natureza da instituição de pesquisa. A Figura 14 apresenta a evolução temporal dos artigos científicos analisados.

Figura 14 - Evolução temporal dos artigos científicos publicados - período de 1981 a Ago/2021



Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados *Web of Science* (2021).

É possível perceber, pela Figura 14, uma tendência de crescimento no número de artigos relacionados ao tema deste estudo. Até 2011, havia poucos artigos publicados na área, totalizando 6 documentos em um período de 30 anos. A partir de 2012, um crescimento com tendência exponencial foi observado ao longo do tempo. É válido ressaltar que no ano de 2021 8 artigos foram identificados, há expectativa de um aumento nesse número devido ao menor espaço temporal de busca (até agosto de 2021), o que explica a queda observada.

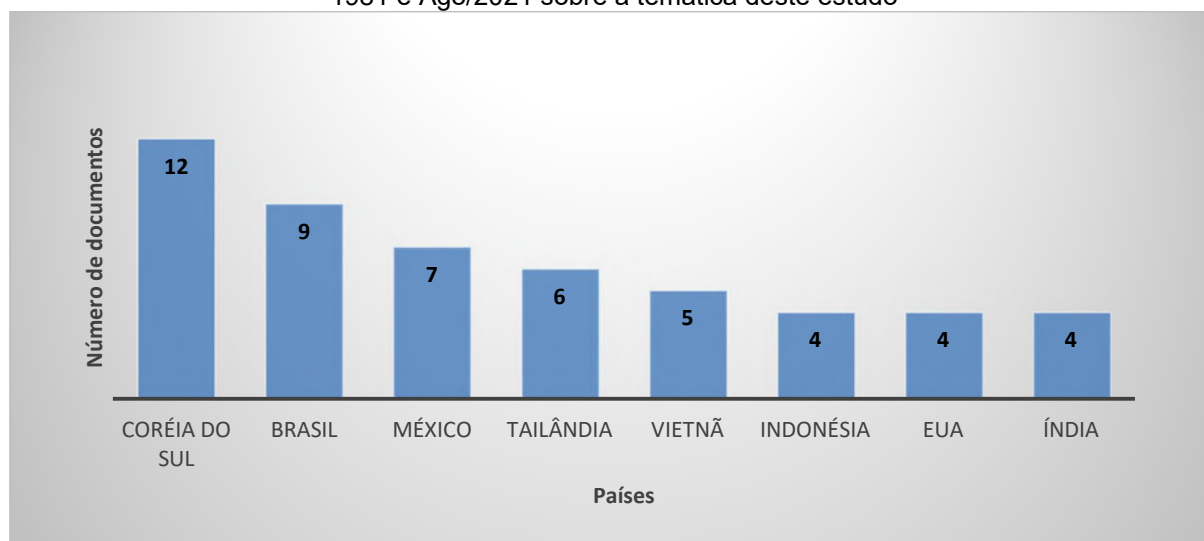
O aumento no número de pesquisas relacionadas aos resíduos de café pode estar associado ao volume crescente de geração desses resíduos entre 2011 e 2020. Em 2011, a produção mundial de café era de aproximadamente 141,5 mil sacas, enquanto em 2020, esse volume foi de 168,5 mil sacas (SECRETARIA DE AGRICULTURA DO GOVERNO DE MINAS GERAIS, 2021). Este aumento na produção de café contribui diretamente para o aumento anual da geração de resíduos. Com a maior disponibilidade dessa biomassa residual, é esperado que mais estudos científicos sobre seu aproveitamento sejam desenvolvidos, com enfoque tanto na sua caracterização quanto na sua aplicação para geração de energia, combustível e demais produtos de alto valor comercial.

Também é válido pontuar que, em 2015, foi definida uma agenda com os 17 objetivos de desenvolvimento sustentável pela Organização das Nações Unidas (ONU) para serem atingidos até 2030, tendo como objetivo proteger o meio ambiente e o clima. Nesse contexto, fatores como a substituição de combustíveis fósseis por fontes alternativas e amigáveis ao meio ambiente, a partir do reaproveitamento de resíduos têm se tornado importantes, já que se alinham às premissas da sustentabilidade (ONU, 2021). Portanto, a tendência de crescimento para pesquisas que associam o uso de resíduos de café e a produção de biocombustíveis é esperada.

Os 8 países que mais publicaram artigos no período analisado e seus respectivos valores de ocorrência encontram-se na Figura 15.



Figura 15 - País de origem dos autores principais dos artigos científicos publicados entre 1981 e Ago/2021 sobre a temática deste estudo



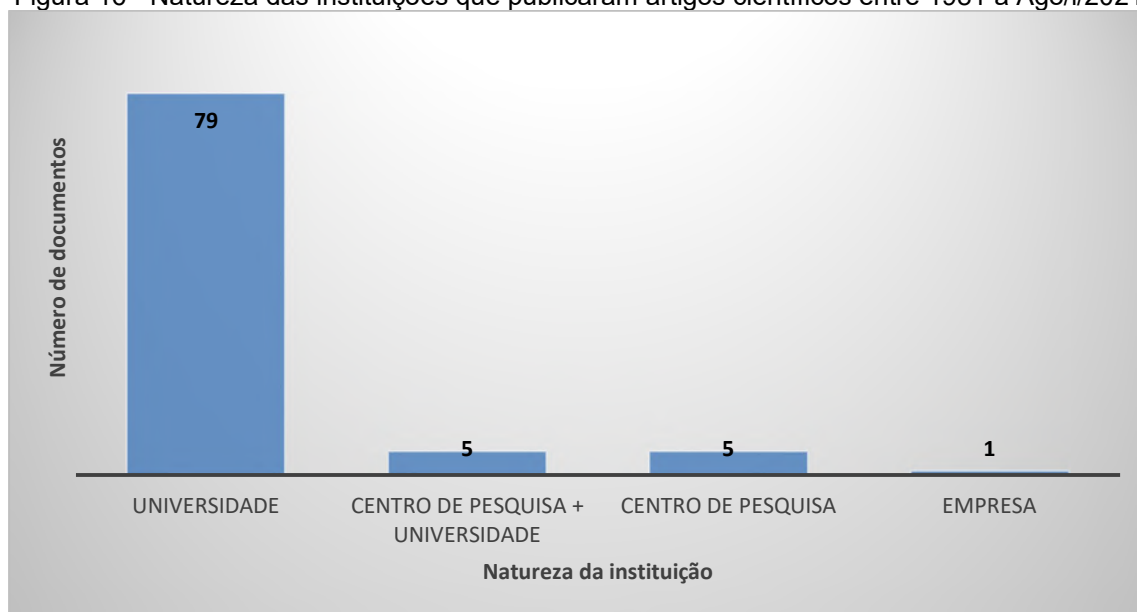
Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados *Web of Science* (2021).

O Brasil, que se encontra em segundo lugar nas publicações de artigos, é um país com uma longa relação com o café, desde o início de sua história. Atualmente, é considerado o maior produtor de café do mundo, sendo responsável por um terço da produção mundial, equivalente à 3,8 milhões de toneladas somente em 2020, e o segundo maior consumidor (CONAB, 2020). Todos os artigos encontrados são de autoria de Universidades Públicas brasileiras, sendo a Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizada em Minas Gerais, responsável de 2 dos 9 artigos identificados. A UFLA possui a Agência de Inovação do Café (InovaCafé) que desenvolve estudos com o objetivo de promover o conhecimento científico e apresentar soluções para problemas relacionados ao agronegócio (INOVACAFÉ, 2021). Além do Brasil, países asiáticos, como República da Coreia, Tailândia, Vietnã, Indonésia e Índia, foram responsáveis por uma produção total de 31 artigos científicos. Esses países, assim como o Brasil, detêm uma parcela grande da produção e consumo de café mundial, sendo os cafés Arábica e Robusta seus principais produtos de colheita (ICO, 2019).

A maior parte dos autores dos artigos científicos estava relacionada a Universidades, o que era esperado, uma vez que representam importantes fontes de produção científica, sendo referência por incentivar a escrita, pesquisa acadêmica e

confeção de artigos por parte de seus alunos, além de armazenarem esse conhecimento em suas bibliotecas (Figura 16). De todas as Universidades prospectadas, as de origem asiática se destacaram, como: *Chulalongkorn University*, da Tailândia (TUNTIWIWATTANAPUN et al., 2017), *Kangnung Wonju National University*, da Coreia do Sul (KIM et al., 2020), *Ton Duc Thang University*, do Vietnã (ATABANI et al., 2019), e *University of Sharjah*, do Emirados Árabes Unidos (KAMIL, 2020). Além das universidades, os centros de pesquisa foram responsáveis por 10 artigos publicados ao todo, sendo 5 deles sem realização de parcerias e 5 com parceria com universidades. Destaque para os centros de pesquisa: *Central American Research Institue for Industry* (CALZADA et al., 1984), *Bio-energy research center* (CHOI et al., 2012) e *Research Institute of Industrial Science and Technology (RIST)* (KWON et al., 2013).

Figura 16 - Natureza das instituições que publicaram artigos científicos entre 1981 a Ago/II/2021



Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados *Web of Science* (2021).

A participação de empresas nas publicações de artigos foi baixa, com apenas um artigo. Isto ocorre devido ao maior interesse por patentes, como forma de proteção intelectual às tecnologias desenvolvidas a curto prazo, enquanto os artigos científicos abordam uma análise mais investigativa e acadêmica de tecnologias desenvolvidas a longo prazo. A Piedmont Biofuls Industrial (BURTON et al., 2010) é a empresa que teve seu artigo publicado, uma pequena empresa de energia

renovável, na Carolina do Norte, EUA, que produz biodiesel e vende para empresas petrolíferas que o misturam com diesel de petróleo e o distribui através de postos de gasolina (INTENGINE, 2021).

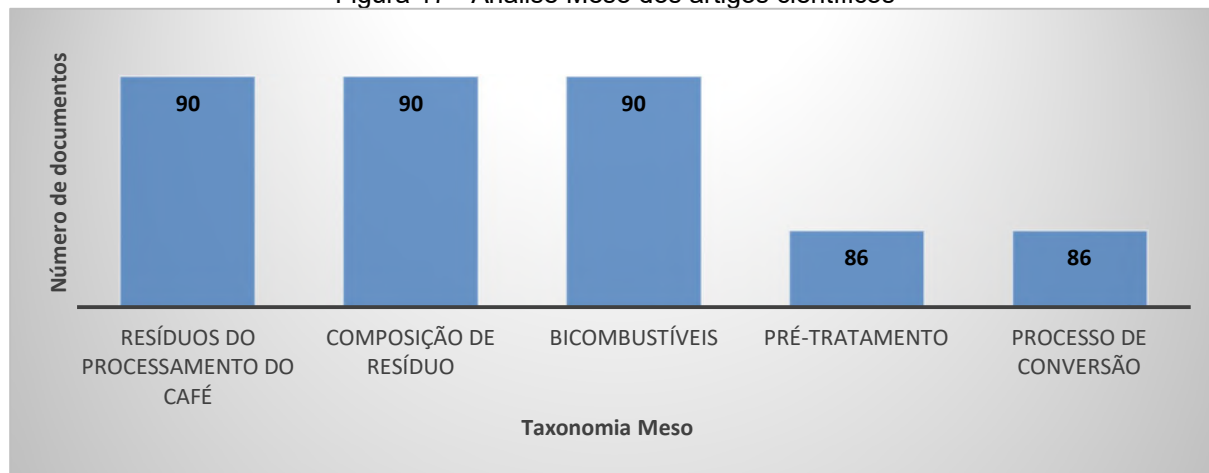
### 5.1.2 Análise Meso

Para o estudo de taxonomias, foram definidas classificações baseando-se nas características mais relevantes para o tema dos documentos analisados. Para a classificação dos artigos, as seguintes taxonomias foram propostas:

- 1) Resíduos do processamento de café – Foco no tipo de resíduo de café gerado, considerando os diferentes métodos para sua obtenção;
- 2) Composição dos resíduos de café – Foco no tipo de fração química extraída do resíduo, que será utilizado no processo de produção do biocombustível;
- 3) Pré-tratamento – Etapa anterior ao processo de produção de biocombustíveis, em que o foco são os processos de preparação e disponibilização da biomassa para o processo de conversão a biocombustível;
- 4) Processo de conversão – Foco nos métodos de produção específicos para cada tipo de biocombustível investigado;
- 5) Biocombustíveis – Foco nos biocombustíveis produzidos.

A Figura 17 mostra a quantidade de artigos que possuíam cada uma das taxonomias definidas acima. É importante ressaltar que um mesmo artigo pode ser classificado em mais de uma categoria.

Figura 17 - Análise Meso dos artigos científicos



Fonte: Elaboração própria.

A partir da análise da Figura 17, foi possível constatar que as taxonomias estão presentes em praticamente todos os artigos pesquisados. Uma vez que a presente prospecção tem como foco a produção de biocombustíveis, é esperado que os artigos científicos reportem todas as etapas do processo, o que justifica as observações verificadas a nível Meso.

A taxonomia “Resíduos do processamento de café” foi observada em todos os 90 artigos estudados. Resultado já esperado, uma vez que o resíduo do café, bem como seus diferentes tipos, são o foco desse estudo. Como exemplo de artigos que abordaram esse assunto, tem-se: *Valorization of spent coffee grounds into biofuels and value-added products: Pathway towards integrated bio-refinery* (ATABANI et al., 2019), que teve como objetivo enfatizar o potencial de reciclagem da borra de café, apresentando uma proposta de biorefinaria integrada. Esse estudo reuniu informações de 233 artigos anteriormente publicados, o que permitiu identificar diversas oportunidades de produção de biocombustíveis como biodiesel, biogás e bioetanol, além de outros produtos de valor agregado.

Outro artigo de destaque foi o *Biogas Potential of Coffee Processing Waste in Ethiopia* (CHALA et al., 2018), que teve como objetivo examinar o potencial anaeróbico do biometano produzido a partir dos resíduos de casca, polpa e mucilagem do café da Etiópia, além de estimar o potencial desse biogás como fonte de energia elétrica e térmica. Um terceiro exemplo de artigo é o *Evaluation of thermochemical routes for the valorization of solid coffee residues to produce biofuels: A Brazilian case* (MARTINEZ et al. 2021), o objetivos deste estudo são avaliar as características dos resíduos de café (casca, polpa, borra e película de prata) e discutir seu potencial de conversão para biocombustíveis melhorados por meio de métodos termoquímicos.

A taxonomia “Composição do resíduo” foi também identificada em todos os 90 artigos estudados. Como a composição é uma parte integrada do resíduo do café, correspondendo à natureza dos compostos constituintes do material, é consistente ter sido observada nessa proporção, coincidindo com o que foi registrado pela taxonomia anterior. Como exemplo de artigos tem-se o *Statistical Analysis and Optimization of Biodiesel Production from Waste Coffee Grounds by a Two-step*

*Process* (GO e YEOM, 2017). Neste estudo, foram investigados o efeito das variáveis operacionais nas etapas de extração da composição lipídica da borra de café e reação de transesterificação. Além disso, foram propostas condições ideais para cada etapa para reduzir o custo de produção de biodiesel sem sacrificar a eficiência de cada etapa.

Outro exemplo é o artigo *Bio-ethanol production from wet coffee processing waste in Ethiopia* (WOLDESENBET et al., 2016), que teve como objetivo otimizar os parâmetros (concentração de ácido sulfúrico, temperatura e tempo de hidrólise e tempo de fermentação) para a produção de bioetanol a partir de resíduos de processamento via úmida do café (mucilagem e polpa) na Etiópia e caracterizar o lodo deixado após a produção de bioetanol. Um terceiro exemplo é o artigo *Active biocatalyst for Biodiesel Production from Spent Coffee Ground* (SARNO e IULIANO, 2018) que explora a razão de metanol/borra de café, concentração de lipase imobilizada, temperatura e reutilização do biocatalisador para a produção de biodiesel.

A taxonomia “Biocombustíveis” foi identificada em todos os 90 artigos analisados. Como essa classificação indica os produtos de interesse, neste caso bioetanol, biogás e biodiesel, era esperado esse resultado. Como exemplo de artigo tem-se o artigo *Optimization of biogas production from coffee production waste* (BATTISTA et al., 2016), com o objetivo de estimar a produção de biogás a partir de resíduos de café, comparando dois processos, um sem a utilização de nenhum pré-tratamento e outro após dois pré-tratamentos químicos, ácido e básico, a fim de melhorar a fermentação dos materiais lignocelulósicos e, conseqüentemente, aumentar a produção de biogás.

Outro exemplo é o artigo *Technoeconomic and enviromental assessment of process for biodiesel production from spent coffee grounds* (KOOKOS, 2018) com o objetivo de apresentar uma avaliação detalhada sobre a utilização de óleo de borra de café e sua transformação em biodiesel. O trabalho investiga o desenvolvimento de um processo economicamente atraente e ambientalmente sustentável a partir da extração simultânea de produtos de alto valor agregado, como compostos bioativos. Um outro exemplo de artigo é *Second Generation Bioethanol from Arabica Coffee*

*Waste Processing at Smallholder Plantation in Ijen Plateau Region of East Java* (HARSONO, 2015) com o objetivo de estudar a condição adequada de hidrólise da polpa de café com ácido sulfúrico diluído e água destilada, determinando a influência dos tempos de concentração e retenção de ácidos. Também para avaliar a viabilidade da produção de bioetanol por fermentação de celulose de café utilizando leveduras de padaria comercial como *Saccharomyces cerevisiae*.

A taxonomia “Pré-tratamento” foi observada em 86 artigos. O pré-tratamento é a etapa responsável por preparar o material para a etapa seguinte de conversão ao produto de interesse. Pode-se citar o artigo *Added-value molecules recovery and biofuels production from spent coffee grounds* (BATTISTA, et al., 2020). Este estudo teve como objetivo abordar e identificar as diferentes técnicas de pré-tratamento e de valorização da borra de café, bem como avaliar suas performances, vantagens e desvantagens. Técnicas como: hidrólise enzimática, para o processo de fermentação do bioetanol; tratamentos ácidos e básicos, para quebra do complexo lignocelulósico; secagem dos resíduos de café; e extração por solvente, para obtenção de óleo usado na produção de biodiesel, foram reportadas.

Outro exemplo de artigo é o *Solvo-thermal in-situ transesterification of wet spent coffee grounds for the production of biodiesel* (PARK et al., 2017). Este estudo utilizou diretamente a borra de café para obter ácido graxo de etil éster utilizando o processo de transesterificação solvotermal *in situ* auxiliado pelo co-solvente de 1,2-dicloroetano. Este processo permite um aumento de eficiência energética omitindo o processo de secagem, integrando extração e conversão lipídicas e eliminando o uso de catalisador externo.

Um terceiro exemplo é o artigo *Development of an integrated process to produce D-mannose and Bioethanol from coffee reidue waste* (ANH NGUYEN et al., 2017) Neste relatório, foi descrito um esquema de biorefinaria com o objetivo de produzir bioetanol como produto convencional e produzir simultaneamente d-mannose (um produto de alto valor) a partir de resíduos de café utilizando uma estratégia simples. Foi investigado a recuperação do açúcar após a hidrólise enzimática, a utilização deste açúcar e a produção de bioetanol por diversas cepas de leveduras, como a *Saccharomyces cerevisiae*, sob várias condições de

fermentação para determinar um potencial processo "verde".

A taxonomia “Processo de conversão” foi também identificada em 86 artigos. Nessa classificação Meso, os processos necessários para a produção dos biocombustíveis de interesse foram apresentados. Como exemplos de artigos que reportaram esses processos, tem-se: *Sequential Co-Production of Biodiesel and Bioethanol with Spent Coffee Grounds* (KWON et al., 2013), que focou no uso de borra de café como matéria-prima, explorando o possível rendimento do açúcar presente no resíduo, em termos de glicose, para a produção de bioetanol, por meio do processo fermentativo. Além disso, foi investigada a conversão de lipídios presentes na borra em biodiesel, por meio do processo de transesterificação alcalina.

E o artigo *Generation of biogas from coffee-pulp and cow-dung co-digestion: Infrared studies of postcombustion emissions* (CORRO et al., 2013), que apresentou os resultados de um estudo preliminar sobre a composição das emissões gasosas geradas pela combustão do biogás, obtido a partir da co-digestão de café-polpa/esterco-vaca. Outro exemplo de artigo é o *Direct biodiesel production from wet spent coffee grounds* (TARIGAN et al., 2019) com o objetivo de produzir biodiesel a partir da biomassa da borra de café utilizando o método de extração de soxhlet e hexano como co-solvente.

### 5.1.3 Análise Micro

Para um melhor entendimento das taxonomias a nível Meso, maiores detalhes foram apresentados a nível Micro para cada uma das taxonomias propostas neste estudo. A Tabela 1 apresenta as taxonomias Meso, Micro I e Micro II, e o número de documentos classificados em cada um desses níveis. É importante ressaltar novamente que um mesmo artigo pode ser classificado em mais de uma categoria.

Tabela 1 – Tabela de escopo - artigos

Meso	Micro I	Micro II	Número de documentos
Resíduos do processamento de café	Via Seca	Casca	7
	Via Semisseca/semiúmida	Mucilagem	0
	Via Úmida	Polpa	19
		Mucilagem	5
	Via Facultativa	Borra	61
		Película de prata	2
Composição dos resíduos de café	Fração lignocelulósica		44
	Fração lipídica		46
Pré-tratamento	Físico	Secagem	60
	Físico-químico	Ácido-Base	26
		Micro-ondas/ultrassom	5
		Extração por solvente	37
		Outros	3
	Biológico	Hidrólise enzimática	25
Processo de conversão	Fermentação		27
	Co-digestão anaeróbica		17
	Esterificação		17
	Transesterificação	Convencional	28
		<i>In-situ</i>	19
Biocombustível	Bioetanol		27
	Biodiesel		43
	Biogás		19

Fonte: Elaboração própria.



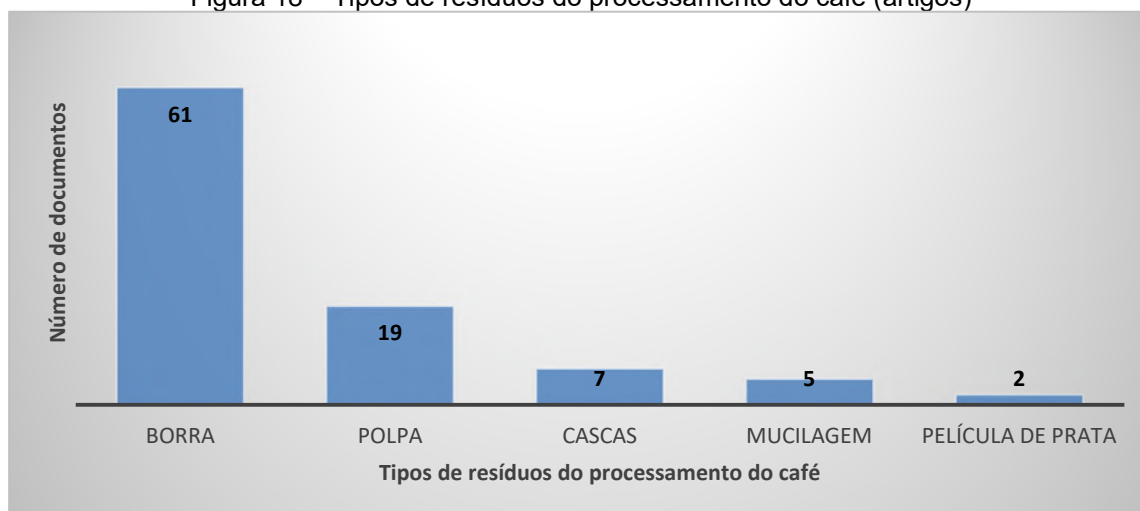
### 5.1.3.1 Resíduos do processamento de café

Como pode ser observado na Tabela 1, os artigos classificados na taxonomia Meso “Resíduos do processamento de café” reportaram a via facultativa como a principal metodologia de obtenção desses materiais, com um total de 63 documentos. A taxonomia “via facultativa” foi escolhida para representar os resíduos que podem ser obtidos tanto por via úmida quanto por via seca e não especificam qual das vias é utilizada nos artigos estudados. Em seguida, foram observadas as vias úmida e seca com 24 e 7 artigos, respectivamente (Análise Micro 1).

Como exemplo de via úmida, o artigo *Process optimization of biogas energy production from cow dung with alkali pre-treated coffee pulp* (SELVANKUMAR et al., 2017) aborda a produção de biogás através da co-digestão anaeróbica do esterco de vaca com a polpa do café de via úmida. Como exemplo de via seca, o artigo *Feasibility of Ethanol production from coffee husks* (GOUVEIA et al., 2009) faz uma avaliação preliminar da viabilidade da produção de bioetanol por fermentação de cascas de café de via seca. Como exemplo de via facultativa, o artigo *Technoeconomic and environmental assessment of a process for biodiesel production from spent coffee grounds (SCGs)* (KOOKOS, 2018) teve como objetivo apresentar uma avaliação detalhada e avaliação da valorização da borra de café para a produção de óleo de café e sua transformação para o biodiesel.

Como observado na Figura 18, a borra foi o principal resíduo de café utilizado como matéria-prima nos processos de produção de biocombustíveis, respondendo por 61 artigos (Análise Micro 2). Sua grande utilização frente aos outros resíduos de café vem da sua composição química. Considerando somente a extração de óleo, que varia de 7-27,8%, a borra é amplamente aproveitada para a produção de biodiesel (EFTHYMIPOULOS, et al., 2017). Um exemplo de artigo investigando a borra de café foi: *A spent coffee grounds based biorefinery for the production of biofuels, biopolymers, antioxidants and biocomposites* (KARMEE, 2017), que explorou a viabilidade técnica de produção de biocombustíveis (bioetanol, biogás e biodiesel) a partir da borra de café, além de propor uma biorefinaria baseada nas perspectivas de economia circular para esse resíduo.

Figura 18 – Tipos de resíduos do processamento do café (artigos)



Fonte: Elaboração própria.

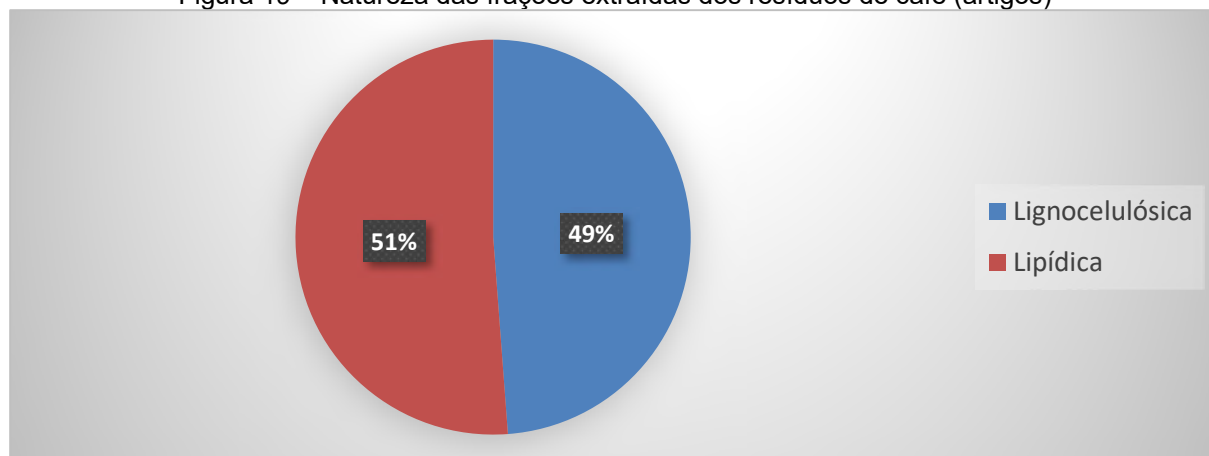
Em segundo lugar, com 19 artigos, destacou-se a polpa de café, que tem sido utilizada principalmente para a produção de bioetanol e biogás. Um exemplo de artigo foi o *Use of Different Extracts of Coffee Pulp for the Production of Bioethanol* (MENEZES, et al., 2013), que teve como objetivo determinar a eficiência da extração de compostos presentes na polpa de café e os diferentes processos de obtenção do extrato de celulose para produção de bioetanol. Outro exemplo de artigo é o *A study on bioethanol production from cashew apple pulp and coffee pulp waste* (SHENOY et al., 2011) com o objetivo de produzir bioetanol a partir de resíduos de biomassa, como a polpa de caju e polpa de café seca e úmida através do método convencional de pré-tratamento com ácido diluído, neutralização, filtração e fermentação.

Os demais resíduos do café, como casca, mucilagem e película de prata, foram reportados para produção de bioetanol e biogás. No entanto, somente 11 artigos foram identificados abordando esses materiais residuais. O artigo *Bioethanol production from coffee mucilage* (YADIRA et al, 2014) é um dos que aborda a produção de bioetanol a partir da utilização de mucilagem. Tem também o artigo *Feasibility of ethanol production from coffee husks* (FRANCA et al, 2008) que aborda a produção de bioetanol a partir da casca de café e o artigo *Sugars metabolism and ethanol production by different yeast strains from coffee industry wastes hydrolysates* (MUSSATTO et al, 2012) aborda diferentes resíduos de café, entre eles a película de prata, como biomassa para produção de bioetanol.

### 5.1.3.2 Composição química dos resíduos de café

Para os artigos referentes à “Composição do resíduo”, as duas classificações referentes a Micro I, fração lignocelulósica e fração lipídica, foram igualmente reportadas, conforme apresentado na Figura 19.

Figura 19 – Natureza das frações extraídas dos resíduos de café (artigos)



Fonte: Elaboração própria.

A fração lipídica, reportada em 51% dos artigos, é representada por óleos e gorduras, compostos principalmente por ácidos graxos e triglicerídeos. Por conta da sua composição, essa fração é destinada majoritariamente à produção de biodiesel, uma vez que as tecnologias de transesterificação e/ou esterificação necessitam de estéres, como o ácido graxo e triglicerídeos. Quanto maior é o teor lipídico presente no óleo utilizado para produção do biodiesel, maior é o rendimento desse bioproduto. Por essa razão, o óleo presente na borra de café é economicamente atrativo, como já mencionado anteriormente, tendo como exemplo o artigo *Effect of Solvent Extraction Parameters on the Recovery of Oil From Spent Coffee Grounds for Biofuel Production* (EFTHYMIOPOULOS et al., 2017). Outros dois exemplos são os artigos *Physicochemical Characterization of Robusta Spent Coffee Ground Oil for Biodiesel Manufacturing* (DANG et al, 2019) e *Waste coffee oil: A promising source for biodiesel production* (UDDIN et al., 2019).

Por sua vez, a fração lignocelulósica, reportada em 49% dos artigos, é representada pelo complexo formado por celulose, hemicelulose e lignina, usado

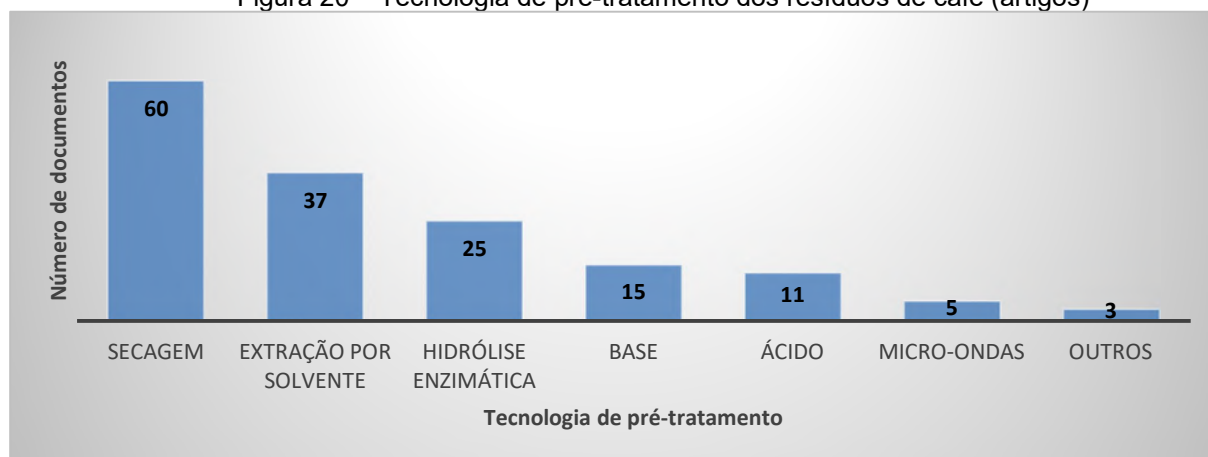
principalmente para a produção de biogás e bioetanol. A biomassa lignocelulósica apresenta desafios em relação à disponibilização de seus açúcares, devido à sua alta resistência à degradação. Por meio de pré-tratamentos adequados, a fração lignocelulósica pode ser desestruturada e seus açúcares disponibilizados aos processos de fermentação e digestão anaeróbica. Além disso, esse tipo de material apresenta elevada abundância, o que aumenta o seu interesse e valor econômico. Uma representação disso é o artigo *Production of biogas (methane and hydrogen) from anaerobic digestion of hemicellulosic hydrolysate generated in the oxidative pretreatment of coffee husks* (SANTOS, et al., 2018) que investiga a otimização do processo de ozonação das cascas de café como técnica de pré-tratamento para a produção de hidrolisatos (fração líquida) que seriam utilizados na produção de biogás (CH<sub>4</sub> e/ou H<sub>2</sub>) via digestão anaeróbica. Outros dois exemplos de artigos são o *Characterisation of Arabica Coffee Pulp - Hay from Kintamani - Bali as Prospective Biogas Feedstocks* (SETYOBUDI et al., 2018) e *Technical possibilities of bioethanol production from coffee pulp: a renewable feedstock* (GURRAM et al., 2015).

Em geral, ambas as frações devem ser processadas mediante pré-tratamentos para uma melhor disponibilização de seus constituintes lipídicos e glicídicos, de maneira a favorecer a produção dos biocombustíveis de interesse.

### **5.1.3.3 Pré-tratamentos**

Para os artigos que citam “Pré-tratamentos”, três diferentes tipos de processos foram reportados, sendo classificados em pré-tratamentos físico, físico-químico e biológico para a Micro I. A Figura 20 apresenta as principais tecnologias de pré-tratamento definidas na Micro II usadas com os resíduos de café.

Figura 20 – Tecnologia de pré-tratamento dos resíduos de café (artigos)



Fonte: Elaboração própria

1) Físico: A secagem do resíduo de café foi o maior destaque na Análise Micro II, com 60 artigos. Os resíduos de café apresentam uma alta taxa de umidade, que pode variar entre 50 e 85%. Com isso, para melhorar a eficiência dos processos de conversão para produção dos biocombustíveis estudados nesse trabalho, é necessário remover esta umidade, utilizando-se do método de pré-tratamento físico de secagem (EFTHYMIPOULOS, et al., 2017). Um exemplo de artigo que reportada a secagem foi *A vital stage in the large-scale production of biofuels from spent coffee grounds: The drying kinetics* (GÓMEZ-DE LA CRUZ, et al., 2014), que teve como objetivo estudar a cinética de secagem envolvida com resíduos de café em uma secadora convectiva. Outro exemplo é o artigo *Effect of the type of Bean, Processing, and geographical Location on the Biodiesel Produced from Waste Coffee Grounds* (JENKINS et al., 2014) que examina os resíduos de café das principais regiões de crescimento e produz biodiesel em condições controladas, analisando seu teor lipídico, método de secagem e rendimento de biodiesel e suas principais propriedades.

2) Físico-químico: Esta taxonomia concentrou a maioria dos artigos, tendo um total de 71 documentos na Micro I. Dentre os tipos de pré-tratamento físico-químico reportados, a extração por solvente se destacou, sendo o segundo método mais utilizado a nível Micro II, com 37 artigos. A extração por solvente é responsável por extrair o óleo do resíduo de café de modo a disponibilizar a fração lipídica para utilização nos processos de conversão. Por ser uma etapa essencial para a eficiência do processo de conversão do biodiesel, justifica-se o número de artigos

abordando essa metodologia. O artigo *“Extraction of lipids from post-hydrolysis spent coffee grounds for biodiesel production with hexane as solvent: Kinetic and equilibrium data”* (GO et al, 2020) teve como objetivo investigar o efeito da razão solvente-sólido, temperatura e tempo na taxa de extração, concentração de equilíbrio, rendimento e recuperação de lipídios da pós-hidrólise da borra de café e determinar o modelo cinético adequado para descrever a extração de lipídios, avaliando o processo em termos de economia de solventes e etapas de extração ideais necessárias, utilizando-se o hexano como solvente.

O artigo *Optimization of Biodiesel Production from Waste Coffee Grounds by Simultaneous Lipid Extraction and Transesterification* (KIM e YEOM, 2020) investiga a produção do biodiesel através da transesterificação *in-situ* onde a extração dos lipídios ocorre ao mesmo tempo que a transesterificação, sendo todo o processo em uma etapa. Outro exemplo de artigo é o *Sequential extraction and reactive extraction processing of spent coffee grounds: An alternative approach for pretreatment of biodiesel feedstocks and biodiesel production* (TUNTIWIWATTANAPUN e TONGCUMPOU, 2018) que possui como principal objetivo o desenvolvimento de um processo sequencial que consiste na lavagem do resíduo de café com metanol para extração de lipídios e realizar uma transesterificação *in-situ* para produção do biodiesel.

Em seguida, os tratamentos com base e ácido foram reportados em 15 e 11 artigos, respectivamente. Esses tratamentos são responsáveis por auxiliar na degradação do complexo lignocelulósico da biomassa, sendo bastante usados para a produção do bioetanol e do biogás. Um exemplo de artigo abordando este pré-tratamento é o *“Optimization of Alkaline Pretreatment of Coffee Pulp for Production of Bioethanol”* (MENEZES et al., 2014) com o objetivo de otimizar o processo de pré-tratamento químico da polpa de café para facilitar a hidrólise enzimática, promovendo o uso de fração lignocelulósica desse resíduo de café para a produção de bioetanol. Para isso, a polpa de café foi inicialmente esmagada e pressionada para remover a fração solúvel. A fração sólida obtida foi pré-tratada com hidróxido de sódio e hidróxido de cálcio. Posteriormente, foi realizada uma hidrólise enzimática e, finalmente, a melhor condição foi utilizada para fermentar com *Saccharomyces cerevisiae* e feita a avaliação do rendimento do bioetanol.

Outro artigo é o *Effect of thermal and acid pre-treatment on increasing organic loading rate of anaerobic digestion of coffee pulp for biogas production* (NAVA-VALENTE et al., 2021) que teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de pré-tratamentos térmicos e ácidos na taxa de biodegradabilidade e produção de biogás na digestão anaeróbica da polpa de café. Outro exemplo é o artigo *Production of bio-sugar and bioethanol from coffee residue (CR) by acid-chlorite pretreatment* (KIM et al., 2017) que abordou a utilização do pré-tratamento da borra de café com clorato de sódio ( $\text{NaClO}_2$ ) e ácido acético para a realização de uma hidrólise eficiente e para remoção de compostos fenólicos com a finalidade de produzir o bioetanol.

O pré-tratamento de micro-ondas/ultrassom foi reportado em 5 documentos, sendo usado para extração de óleos. Outros métodos também têm sido reportados, respondendo por 3 documentos ao todo, como: organosolv, utilizado como pré-tratamento para conversão de biomassa lignocelulósica com ação enzimática; e tratamentos fotocatalítico e com ozônio, utilizados também para promover a desestruturação da lignina e rompimento do complexo lignocelulósico. Um exemplo de artigo que aborda a utilização do método de ultrassom para extração de óleos é o *“Ultrasonic assisted oil extraction and biodiesel synthesis of Spent Coffee Ground”* (GOH et al., 2020) teve como objetivo avaliar o potencial da borra de café como matéria-prima para a produção de biodiesel e utilizou a extração assistida ultrassônica otimizada em termos de tipo de solvente, razão solvente para massa seca, tempo de reação, amplitude ultrassônica e presença de umidade e comparada com a extração convencional de Soxhlet para determinar o melhor método de extração em termos de produção de óleo, uso de solventes e tempo de extração. Outros dois exemplos de artigos que abordam esse pré-tratamento são: *Ultrasound-assisted production of biodiesel and ethanol from spent coffee grounds* (ROCHA et al., 2014) e *Ultrasonic assisted oil extraction and biodiesel synthesis of Spent Coffee Ground* (GOH et al., 2020).

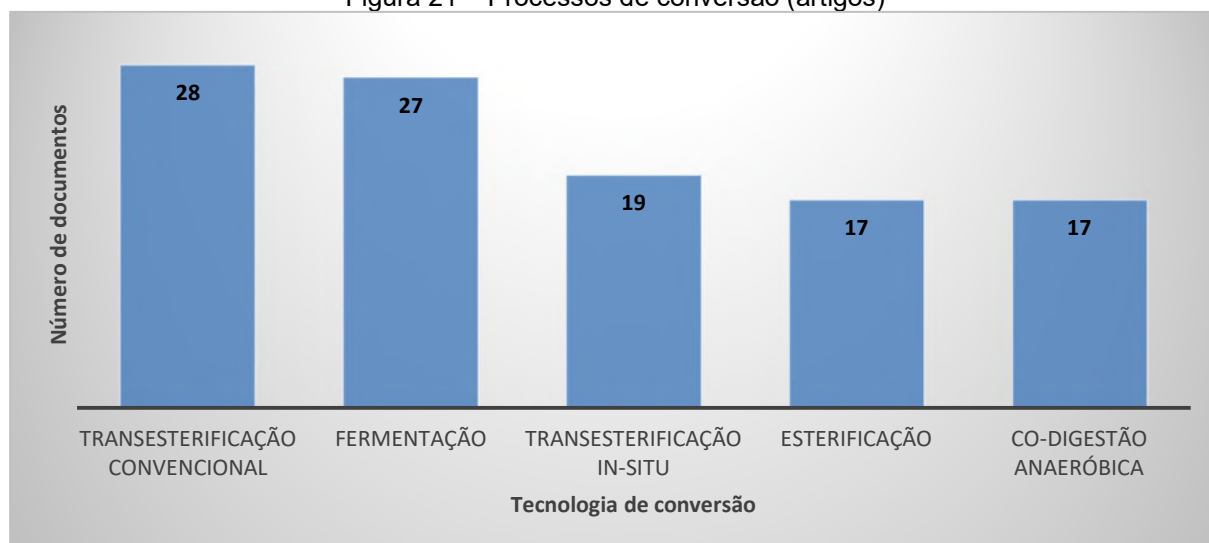
3) Biológico: Representado pela hidrólise enzimática, com 25 artigos. Após o rompimento ou desestruturação do complexo lignocelulósico por algum método de pré-tratamento, é realizada a hidrólise enzimática, com objetivo de produzir, principalmente, bioetanol. Um exemplo de artigo é o *“Sugars metabolism and ethanol production by different yeast strains from coffee industry wastes hydrolysates”*

(MUSSATTO et al.,2012) com o objetivo de investigar a possibilidade de utilização da borra de café como matéria-prima para produção de bioetanol por fermentação, uma vez que os hidrolisados produzidos a partir desse resíduo contém uma mistura de açúcares de hexose e pentose, e avaliar a capacidade de três cepas diferentes de levedura (*P. stipite* NRRL-Y-7124, *S. cerevisiae* RL-11, e *K. fragilis* Kf1) para metabolizar seus açúcares e convertê-los em bioetanol. Outros exemplos são os artigos *Bio-ethanol production from wet coffee processing waste in Ethiopia* (WOLDESENBET et al., 2016) que aborda a produção de bioetanol com a otimização de seus parâmetros de pré-tratamento com ácido sulfúrico, temperatura e tempo de hidrólise e tempo de fermentação a partir da utilização da polpa e mucilagem do café e *Production of bioethanol from Robusta coffee pulp (Coffea robusta L.) in Vietnam* (PHUONG et al., 2019).

#### 5.1.3.4 Processo de conversão

Dos artigos que tiveram o foco no “Processo de conversão”, como demonstrado na Figura 21, pode-se destacar os processos de produção de biodiesel, com um total de 64 documentos. Esses processos foram representados pela esterificação, transesterificação convencional e transesterificação *in situ*.

Figura 21 – Processos de conversão (artigos)



Fonte: Elaboração própria



O destaque às tecnologias relacionadas à produção de biodiesel está alinhado aos resultados encontrados na parte de “Composição de resíduos”, em que a fração lipídica foi reportada em 51% dos documentos. Um exemplo de artigo abordando uma das três metodologias em questão foi o *Direct transesterification of spent coffee grounds for biodiesel production* (LIU et al., 2017), que investigou a produção de biodiesel a partir da borra de café após extração por solvente de seu óleo, seguida do processo de transesterificação convencional.

Outros exemplos são os artigos *In-situ transesterification process for biodiesel production using spent coffee grounds from the instant coffee industry* (TUNTIWIWATTANAPUN et al, 2017) que teve como objetivo desenvolver um processo de transesterificação *in-situ* que produza biodiesel de qualidade a partir da borra de café levando em consideração o efeito da temperatura do processo, pré-tratamentos para redução da acidez do resíduo, tamanho das partículas e tempo de reação e *Wet in situ transesterification of spent coffee grounds with supercritical methanol for the production of biodiesel* (SON et al, 2018) que estuda um processo simplificado de transesterificação *in-situ* utilizando a borra de café e metanol supercrítico, eliminando a necessidade de secagem da biomassa quanto o uso de catalisadores, integrando os processos de extração e conversão para produção do biodiesel.

Em seguida, apareceu a fermentação com 27 documentos. O artigo *Bioethanol production from coffee mucilage* (YADIRA et al, 2015), investigou a produção de bioetanol a partir da mucilagem de café, pela ação da levedura *S. cerevisiae*. O artigo *Coffee extract residue for production of ethanol and activated carbons* (TEHRANI et al., 2015) utiliza um método de hidrólise enzimática e fermentação, a partir da borra de café, para produção de bioetanol. O estudo compara os resultados com e sem a utilização de pré-tratamentos da biomassa. Foi utilizada a levedura *S. Cerevisiae* durante o processo de fermentação.

Outro exemplo é o artigo *Integration of chlorogenic acid recovery and bioethanol production from spent coffee grounds* (BURNIOL-FIGOLS et al., 2016) que investiga a possibilidade de produzir ácido clorogênico e bioetanol em um esquema de biorefinaria. A partir da extração do ácido clorogênico, ocorre uma

hidrólise ácida para liberar os açúcares da hemicelulose para fermentação com o objetivo de produzir bioetanol.

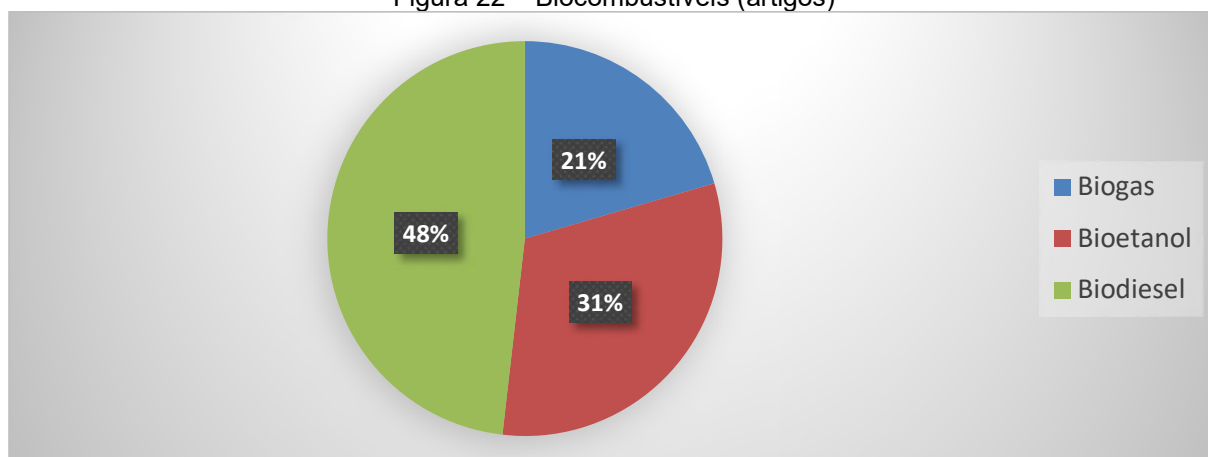
Por fim, a co-digestão anaeróbica, associada à produção de biogás, foi reportada em 17 artigos. Um dos documentos de destaque referentes à co-digestão anaeróbica foi *“Anaerobic co-digestion of spent coffee grounds with different waste feedstocks for biogas production”* (KIM, et al., 2016), que analisou diversas matérias-primas de resíduos alimentares, algas marinhas, lodo e soro para serem co-utilizadas com a borra de café. Esse artigo teve como foco principal a avaliação das diferentes características e composições dos resíduos de café e dos co-substratos para produção de biometano, por meio da co-digestão anaeróbica.

Outros exemplos de artigos são o *Anaerobic Co-digestion of Pig Manure and Spent Coffee Grounds for Enhanced Biogas Production* (ORFANOUDAKI et al., 2020) que aborda a produção de biogás a partir da borra de café com a utilização de estrume de porco líquido para a co-digestão anaeróbica como uma forma de melhorar a conversão da biomassa em biogás e *Biogas Production from Pretreated Coffee-Pulp Waste by Mixture of Cow Dung and Rumen Fluid in Co-Digestion* (JULIASTUTI et al., 2017) teve como objetivo comparar a produção de metano por consórcio microbiano de mistura de esterco de vaca e fluido de rumen a partir de resíduos de polpa de café como substrato de biogás com e sem pré-tratamento.

#### **5.1.3.5 Biocombustíveis**

Quanto à classificação Meso referente a “Biocombustíveis”, como mostrado na Figura 22, foram identificados três bioprodutos principais: bioetanol, biogás e biodiesel.

Figura 22 – Biocombustíveis (artigos)



Fonte: Elaboração própria

Nos artigos pesquisados, o biodiesel se destacou como principal biocombustível estudado, respondendo por 48% das pesquisas. Como abordado na revisão bibliográfica, desde 2004, o biodiesel participa do PNPB, que estimula e incentiva a produção e a diversificação das matérias-primas utilizadas no Brasil (RIBEIRO, 2018). Além disso, existe uma tendência de substituição do diesel fóssil pelo biodiesel no Brasil, sendo atualmente, obrigatória a mistura de 13% de biodiesel ao diesel combustível (ANP, 2021). Exemplos de artigos: *Direct transesterification of spent coffee grounds for biodiesel production* (LIU et al., 2017), *Evaluation of Two-Step Reaction and Enzyme Catalysis Approaches for Biodiesel Production from Spent Coffee Grounds* (BURTON et al., 2010) e *Integrated valorization of waste cooking oil and spent coffee grounds for biodiesel production: Blending with higher alcohols, FT-IR, TGA, DSC and NMR characterizations* (ATTABANI et al., 2019)

Depois do biodiesel, o bioetanol representa 31% das pesquisas sobre o tema nos artigos analisados. Assim como o biodiesel, o bioetanol é utilizado como combustível de transporte no Brasil e, segundo a ANP, sua produção tem apresentado um forte crescimento no país (ANP, 2021). Exemplos de artigos: *Conversion of coffee residue waste into bioethanol with using popping pretreatment* (CHOI et al., 2012), *Optimization of Chemical Pretreatments Using Response Surface Methodology for Second-Generation Ethanol Production from Coffee Husk Waste* (MORALES-MARTINEZ et al., 2020) e *Optimization and Scale-Up of Coffee Mucilage Fermentation for Ethanol Production* (ORREGO et al., 2018).

Por último, o biogás aparece em 21% das pesquisas sobre o tema. O principal biogás utilizado é o biometano, utilizado como combustível, fonte de calor e de energia elétrica (ABIOGAS, 2021). Exemplos de artigos: *Generation of biogas from coffee-pulp and cow-dung co-digestion: Infrared studies of postcombustion emissions* (CORRO et al., 2013), *Optimization of biogas production from coffee production waste* (BATTISTA et al., 2016) e *Anaerobic co-digestion of spent coffee grounds with different waste feedstocks for biogas production* (KIM et al., 2016)

O artigo *Valorization of spent coffee grounds into biofuels and value-added products: Pathway towards integrated bio-refinery* (ATTABANI, et al., 2019) é um exemplo de artigo que explora a produção dos três biocombustíveis identificados na prospecção científica deste estudo.

## 5.2 Patentes

As plataformas LENS, Espacenet, USPTO e *Patent Scope (WIPO)* foram escolhidas para uma pesquisa prévia, sendo todas bases de acesso gratuito. Dentre elas, a partir das palavras chave pré-definidas (Quadros 2 e 3), o LENS apresentou um maior retorno de trabalhos e, portanto, foi escolhida como a base para análise preliminar dos dados, de acordo com o demonstrado no quadro 5.

Quadro 5 – Comparação entre as bases de dados de patentes

<i>Base de dados</i>	<i>LENS</i>	<i>Espacenet</i>	<i>USPTO</i>	<i>Patent Scope</i>
<i>Nº de patentes encontradas</i>	275	192	212	83

Fonte: Elaboração própria

A base LENS é uma plataforma criada nos anos 2000, parceria da organização Cambia e a *Queensland University of Technology*, na Austrália. Possui em sua base 58 milhões de famílias de patentes e 106,9 milhões de patentes individuais com informações bibliográficas desde 1907. Seus dados de patentes são obtidos através dos Escritório Europeu, Americano e Australiano de Patentes e relacionados ao Tratado de Cooperação (PCT) nos termos da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO) (PIRES; RIBEIRO; QUINTELLA, 2020). Por ser

uma plataforma que abrange também outras bases e por ter sido a com maior número de patentes encontradas, a plataforma LENS foi selecionada para a análise de dados.

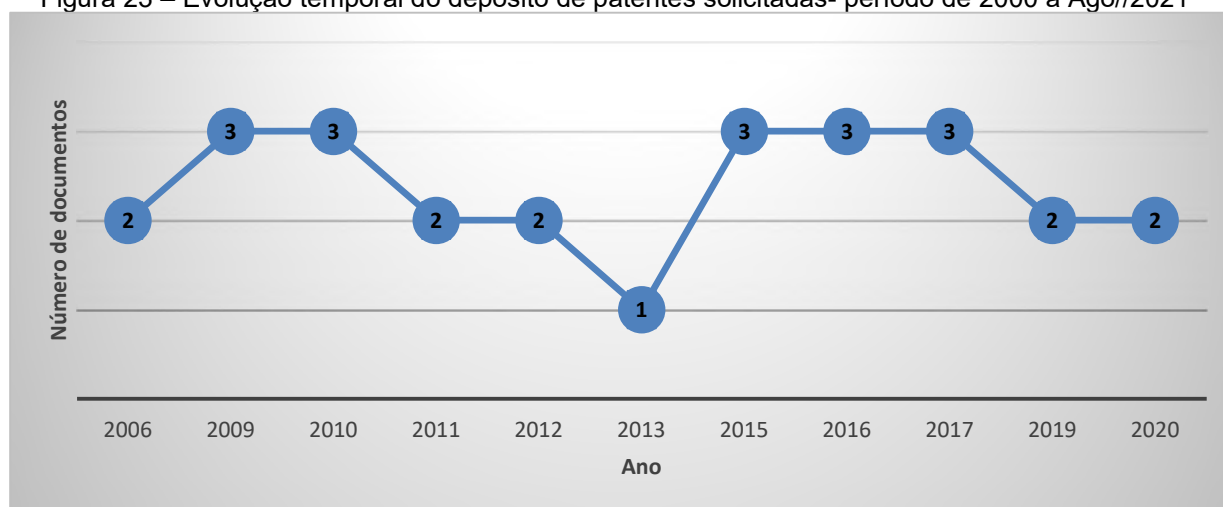
A busca no banco de dados LENS foi realizada no período de 2000 à Agosto de 2021, e foram encontradas 275 patentes. Para a determinação de quais patentes eram de interesse, foi feita a leitura das reivindicações, resumos e exemplos presentes nas patentes pesquisadas. Com isso, foram excluídas do estudo as patentes que não possuíam como objetivo a produção de nenhum dos biocombustíveis de interesse e as que não utilizavam efetivamente o resíduo de café como matéria-prima do processo citadas nas reivindicações e exemplos da patente. A presença de alguma das palavras-chaves em outras partes da patente não garante que ela esteja dentro do escopo deste trabalho. Com isso, restaram 35 patentes para serem analisadas, que foram classificadas em patentes solicitadas (24) e patentes concedidas (11).

## 5.2.1 Patentes Solicitadas

### 5.2.1.1 Análise Macro

A Figura 23 apresenta a evolução temporal das 24 patentes solicitadas identificadas no levantamento tecnológico. Não foram encontradas patentes referentes ao tema anterior ao ano de 2006.

Figura 23 – Evolução temporal do depósito de patentes solicitadas- período de 2000 a Ago//2021

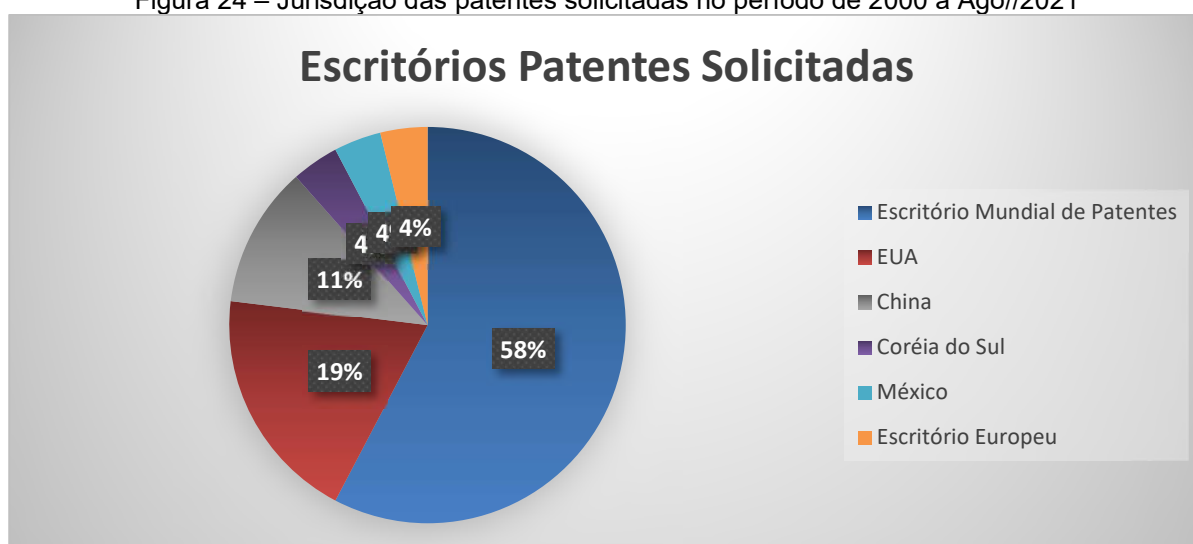


Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados LENS (2021).

Como observado na Figura 23, há dois picos que representam um maior número de patentes solicitadas, sendo o primeiro de 2009 à 2010 e o segundo de 2015 à 2017. Ambos com 3 patentes cada. Além disso, pode-se observar que os outros anos se mantiveram em um patamar constante, variando entre uma e duas patentes.

Em relação à jurisdição, os escritórios nos quais as patentes foram solicitadas são apresentados na Figura 24. O escritório que deteve o maior número de patentes solicitadas, cerca de 58%, foi o Escritório Mundial de Patentes, organização internacional com sede em Genebra, Suíça, responsável pela promoção e proteção da propriedade intelectual ao nível mundial. Em seguida, ocupando a segunda posição, o escritório dos Estados Unidos, respondendo por 21% das patentes solicitadas. Em terceiro lugar, o escritório da China representando 13% das patentes solicitadas e, empatados em último lugar, os escritórios do México, da Coréia do Sul e o europeu com 4% do total de patentes solicitadas, cada um.

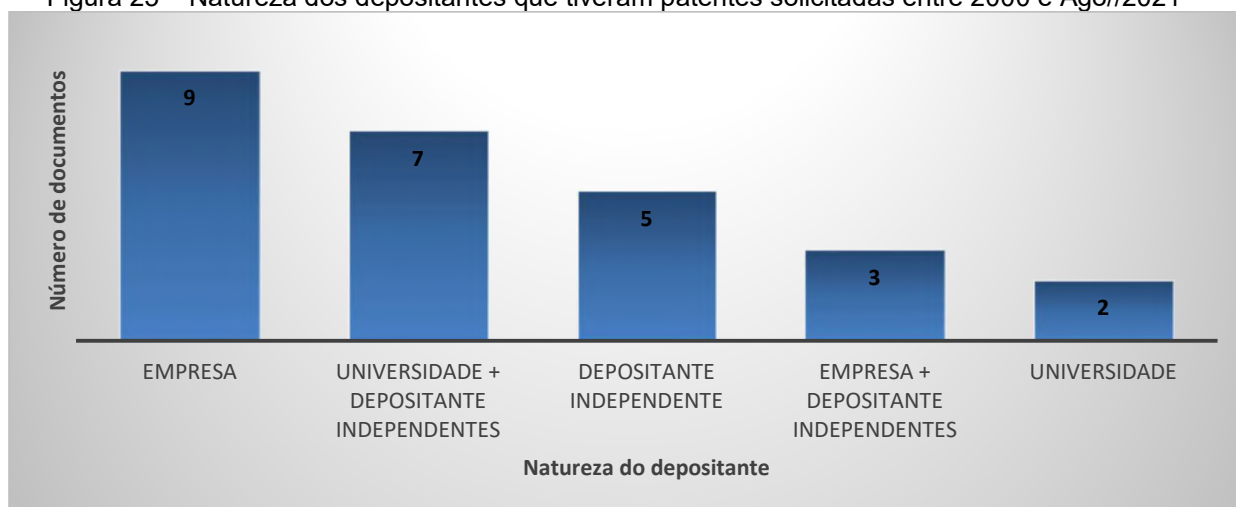
Figura 24 – Jurisdição das patentes solicitadas no período de 2000 a Ago//2021



Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados LENS(2021).

Quanto às instituições depositantes, a Figura 25 mostra que a maior parte das patentes solicitadas foram aplicadas por empresas, com 9 patentes solicitadas.

Figura 25 – Natureza dos depositantes que tiveram patentes solicitadas entre 2000 e Ago//2021



Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados LENS (2021).

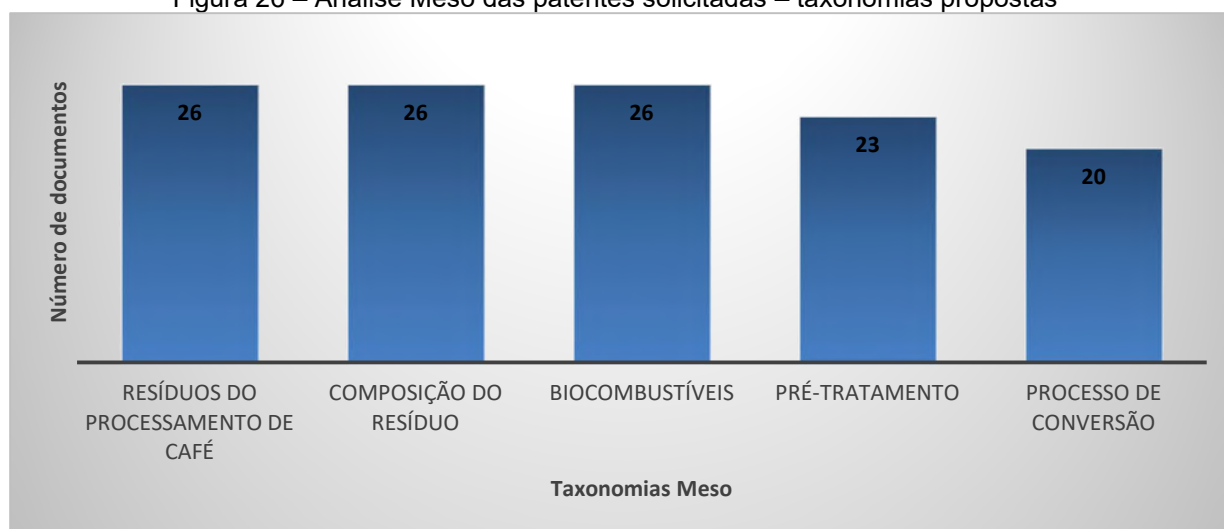
Quando se trata de patentes, é esperado encontrar um maior número de Empresas como depositantes. Nessa prospecção, foi encontrado um total de 12 patentes solicitadas, considerando as patentes depositadas somente por empresas e pela parceria entre empresas e depositantes independentes. Esse montante de documentos foi superior ao de Universidades, considerando somente universidades e a parceria entre universidades e depositantes independentes, que apresentou um total de 9 solicitações.

As principais empresas que realizaram pedidos de depósito de patentes foram *Solazyme Inc* e *Basf Se* cada uma com duas patentes solicitadas cada. A *Solazyme Inc* é uma empresa do ramo de produção de biocombustíveis, com sede em São Francisco, nos Estados Unidos, com objetivo de se produzir biodiesel, focada em tecnologia de extração de óleos, principalmente focada em microalgas (SOLAZYME, 2021). A *Basf Se* é uma empresa alemã, líder na área química, focada na busca de soluções para as áreas de alimentos e energia (BASF, 2021). Além delas, empresas como *Novozymes As*, *Qteros Inc*, *Epcot Crenshaw Corp*, *Bio-Bean Ltd*, *Dehong Yinuo Pure Coffee Co Ltd* e *Hyperthermics As* também depositaram patentes depositadas, com uma patentes cada.

### 5.2.1.2 Análise Meso

A Figura 26 mostra a quantidade de patentes solicitadas que possuíam cada uma das taxonomias Meso propostas neste trabalho. Uma mesma patente pode ser classificada em mais de uma categoria.

Figura 26 – Análise Meso das patentes solicitadas – taxonomias propostas



Fonte: Elaboração própria

De acordo com a Figura 26, “Resíduos de processamento de café”, “Composição do resíduo” e “Biocombustíveis” são taxonomias que foram observadas em todas as 26 patentes solicitadas estudadas. Essa mesma tendência foi observada nos artigos científicos analisados. Como exemplo de patente Method for producing bioethanol through coffee waste (CN110106207A), da Dehong Yinuo Pure Coffee Co Ltd, empresa que é líder nacional no ramo de café na China, com desenvolvimento de plantações de café na área, que solicitou proteção intelectual a um método de preparação de bioetanol a partir de resíduos de café (borra de café). O método inclui as etapas de adição da borra de café e ácido sulfúrico à água desionizada para hidrólise por 1 hora, seguida de fermentação por 48-96 horas para obter hidrolisato de bioetanol.

Outro exemplo é a patente *Methods, Systems, and Apparatus for Obtaining Biofuel from Coffee and Fuels Produced Therefrom* (WO015358A3), da *University of Nevada*, que solicitou proteção intelectual para um método de produção de



biocombustível a partir da borra de café. Triglicerídeos e outros materiais, como antioxidantes, são extraídos da fonte do café e passam pelo processo de transesterificação para produzir um produto de biocombustível de éster ácido graxo (biodiesel).

A taxonomia “Pré-tratamento” foi reportada em 21 documentos das patentes depositadas no período analisado. Como exemplo dessa classificação tem-se a patente *Method For Preparing Biodiesel From Spent Coffee Ground Using Thermal Hydrolysis of Chlorinated Organic Solvents* (KR0054312A), que solicitou proteção intelectual a um método de fabricação de biodiesel a partir da borra de café, baseado em uma etapa de extração de lipídios por hidrólise térmica de um solvente orgânico de cloreto, para fornecer um ambiente ácido, e de uma etapa de transesterificação, sem uso de catalisador.

Outro exemplo é a patente *Method and Apparatus for Extracting Oil From Food Waste* (WO094900A1) solicitou proteção intelectual para um método que explora o benefício proporcionado pela combinação de tratamento de água quente, tratamento a vapor e prensagem como método de extração de óleo de resíduos de alimento, como a borra de café. Este óleo pode ser processado para a produção de biodiesel.

A taxonomia “Processo de conversão” foi abordada em 20 patentes solicitadas das 24 analisadas. Esta classificação reuniu patentes que apresentavam as principais tecnologias de produção dos biocombustíveis de interesse deste estudo. A empresa *Bio-Bean LTD*, que recicla resíduos de café e os transforma em produtos eficientes e sustentáveis para o mercado (BIO-BEAN, 2021), depositou a patente *Biofuel* (WO093757A1), em 2017, solicitando proteção à produção de biodiesel a partir da fração lipídica extraída da borra de café.

Outro exemplo de patente é *Protein Concentration With Hyperthermophilic Organisms* (WO074954A1), da Hyperthermics As, empresa que desenvolve e fornece instalações biotecnológicas compactas que convertem resíduos orgânicos em energia renovável, como biogás e massa proteica (HYPERTHERMICS, 2021). Solicitou proteção para um método de utilização do acetato produzido pela

fermentação da borra de café com organismos hipertermofílicos sendo usado para a produção de metano ou biogás.

#### **5.2.1.3 Análise Micro**

Na análise Micro, as patentes depositadas foram classificadas da mesma forma que os artigos científicos, sendo o número de patentes correspondente a cada taxonomia apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Tabela de escopo – patentes solicitadas

Meso	Micro I	Micro II	Número de documentos
Resíduos do processamento de café	Via Seca	Casca	0
	Via Semisseca/semiúmida	Mucilagem	0
	Via Úmida	Polpa	5
		Mucilagem	4
	Via Facultativa	Borra	19
		Película de prata	0
Composição dos resíduos de café	Fração lignocelulósica		14
	Fração lipídica		12
Pré-tratamento	Físico	Secagem	8
	Físico-químico	Ácido-Base	4
		Micro-ondas/ultrassom	0
		Extração por solvente	11
		Outros	3
	Biológico	Hidrólise enzimática	10
Processo de conversão	Fermentação		10
	Co-digestão anaeróbica		2
	Esterificação		1
	Transesterificação	Convencional	8
		<i>in-situ</i>	0
Biocombustível	Bioetanol		11
	Biodiesel		12
	Biogás		3

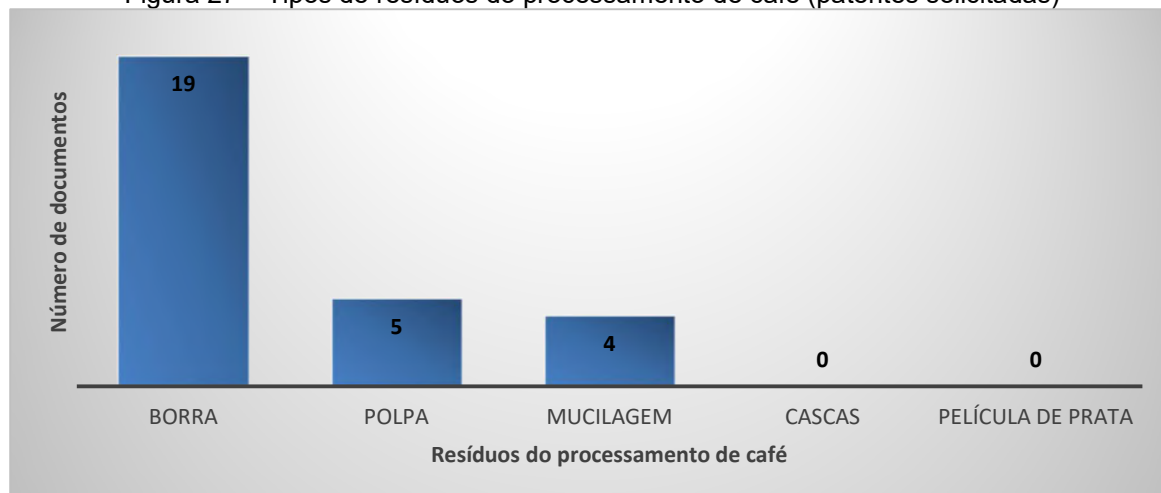
Fonte: Elaboração própria.

### 5.2.1.3.1 Resíduos do processamento de café

A classificação Meso “Resíduos do processamento de café”, ilustrada na Figura 27, apresentou resultados semelhantes aos observados para artigos científicos, em que a borra de café foi o resíduo mais investigado, representado em 19 patentes, devido à sua abundância, facilidade de obtenção e propriedades físico-químicas. Em seguida, a polpa de café, com 5 solicitações, e, por último, a mucilagem do café de via úmida, com 4 solicitações. Nenhum dos outros resíduos classificados nas taxonomias foram reportados nas patentes solicitadas analisadas. Um exemplo de patente é *Method to Enhance Grain Processing and Digestibility* (US0238317A1) que solicitou proteção intelectual para um método de processamento de grãos e resíduos, como a borra de café, a partir do uso de um secador de biomassa rotativo para processar os materiais e submetê-los a uma explosão de vapor, a fim de formar um material processado que exibe um aumento no potencial de porosidade e/ou absorção com o objetivo de ser utilizado posteriormente como fonte de biomassa na produção de bioetanol.

Outro exemplo é a patente *Process for Obtaining Honey And/or Flour of Coffee From the Pulp or Husk and the mucilage of the coffee bean* (US0142994A1) que solicitou proteção intelectual para um método de utilização dos subprodutos do café na produção de proteínas, polifenóis, vitaminas e minerais, por meio de métodos de concentração e conservação da mucilagem e da polpa de café, que são adequadas para uso como matérias-primas para a produção de bioetanol.

Figura 27 – Tipos de resíduos do processamento de café (patentes solicitadas)



Fonte: Elaboração própria.

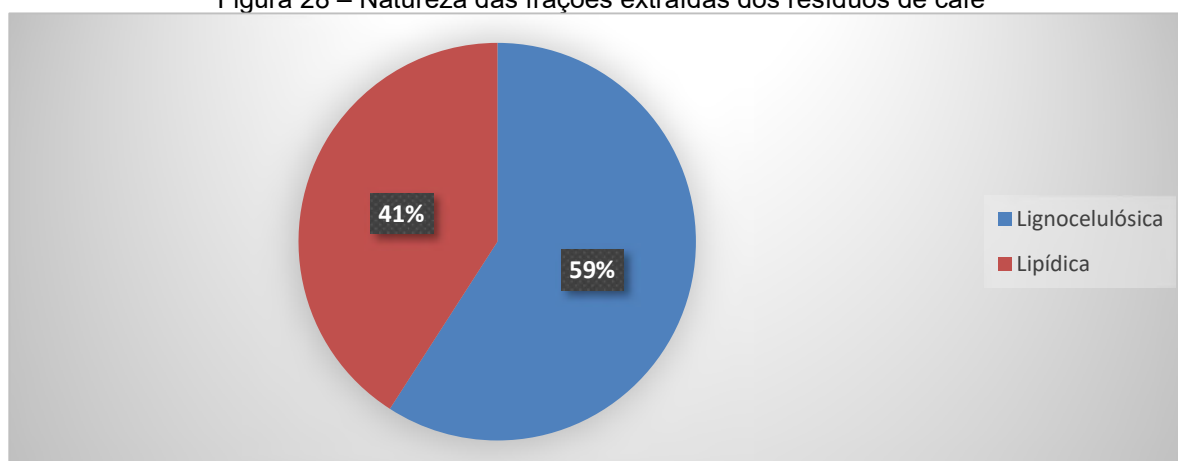
#### 5.2.1.3.2 Composição química dos resíduos de café

Em relação à “Composição do resíduo”, que tem os resultados apresentados na Figura 28, a fração lignocelulósica foi reportada em cerca de 59% das patentes solicitadas, contra 41% da fração lipídica.

A patente *Novel Trygliceride and Fuel Compostions* (US0203168A1) abordou a utilização da fração lipídica, a partir dos triglicerídeos extraídos de diversas fontes, incluindo resíduos de café, e foi solicitada pela empresa *Solazyme Inc*, do ramo de produção de biocombustíveis, com objetivo de se produzir biodiesel.

Já a patente *Enzymatic Degradation of Biomass Substrates Comprising Mannan* (WO074685A1) é um exemplo de documento abordando a fração lignocelulósica, solicitada pela empresa *Novozymes*. Trata-se de uma multinacional dinamarquesa da área de biotecnologia, que possui domínio sobre o mercado mundial de enzimas, especialmente àquelas usadas na etapa de pré-tratamento da biomassa lignocelulósica. Essa patente pedia proteção aos processos de degradação enzimática de materiais que contém polissacarídeos, como resíduos de café, para produção de bioetanol.

Figura 28 – Natureza das frações extraídas dos resíduos de café

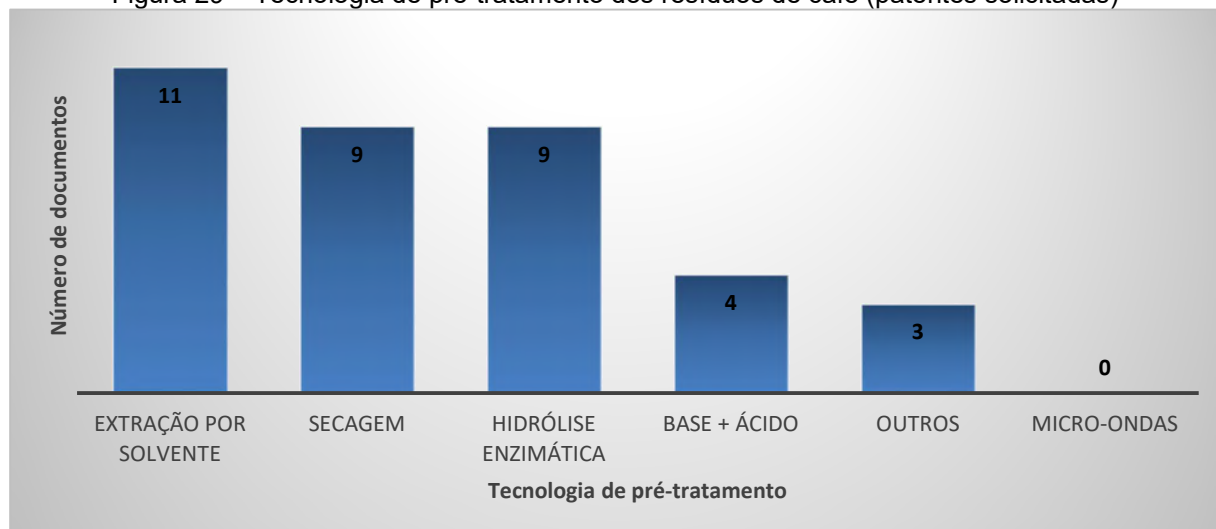


Fonte: Elaboração própria

### 5.2.1.3.3 Pré-tratamento

Quanto aos tipos de pré-tratamentos investigados, três diferentes tipos de processos foram reportados, sendo classificados em pré-tratamentos físico, físico-químico e biológico para a micro I. A Figura 29 apresenta as principais tecnologias de pré-tratamento definidas na micro II usadas com os resíduos de café.

Figura 29 – Tecnologia de pré-tratamento dos resíduos de café (patentes solicitadas)



Fonte: Elaboração própria.

1) Físico: A secagem do resíduo de café teve 9 patentes solicitadas, sendo um dos destaques entre os pré-tratamentos, é bastante utilizado devido à alta umidade dos resíduos de café e à necessidade de rompimento da parede celular, para auxiliar outros pré-tratamentos como a extração por solventes. A patente *Methods for producing chemical products from fermentation byproducts* (WO149956A2) da *Qteros Inc.*, empresa americana de energia que pesquisa a produção de etanol celulósico a partir de uma variedade de fontes de matérias-primas não alimentícias (QTEROS, 2021), solicitou proteção a um processo adicional à etapa inicial de fermentação, denominado de bioprocessamento consolidado (BPC), caracterizado pela moagem a seco dos resíduos de café para a produção de bioetanol. Outro exemplo de patente é a *Methods, Systems, and Apparatus for Obtaining Biofuel from coffee and fuels produced therefrom* (WO015358A2).

2) Físico-químico: Um total de 18 patentes, divididas em três classificações da

Micro II, foram identificados. A extração por solvente foi o método mais abordado nas patentes solicitadas, com 11 documentos. A classificação “outros” apresentou 3 documentos e foi representada pelos pré-tratamentos fotocatalítico e de hidrólise térmica. Como exemplo é possível citar a patente *Method For Preparing Biodiesel From Spent Coffee Ground Using Thermal Hydrolysis of Chlorinated Organic Solvents* (KR0054312A) da *Korea Advanced Inst Sci & Tech* (KAIST), que solicitou proteção intelectual ao processo de conversão do biodiesel por meio de uma etapa de extração por solvente sem utilização do pré-tratamento físico de secagem. Por fim, o pré-tratamento classificado como “ácido-base” apresentou 4 patentes depositadas.

Outro exemplo de patente é a *Enzymatic Degradation of Biomass Substrates Comprising Mannan* (WO074685A1), da empresa *Novozymes As*, que solicitou proteção intelectual para processos que compreendem a degradação enzimática de materiais contendo polisacarídeos para a produção de bioetanol através de hidrólise e fermentação. Como biomassa, pode utilizar-se da borra de café e a mesma pode opcionalmente ser pré-tratada com ácido diluído ou com solução alcalina.

3) Biológico: Representado pela hidrólise enzimática, foram encontrados 9 pedidos de patentes. Como exemplos, pode-se citar a patente *Methods for producing chemical products from fermentation byproducts* (WO149956A2) da *Qteros Inc.*, descrita no tópico de pré-tratamento físico, que também apresenta pré-tratamento biológico e aborda a produção de bioetanol.

Outro exemplo é a patente *Endophytic Yeast Strains, Methods for Ethanol and Xylitol Production, Methods for Biological Nitrogen Fixation, and a Genetic Source for Improvement of Industrial Strains* (WO105226A2), da Universidade de Washington, que solicitou a proteção de novas cepas de leveduras endofíticas capazes de metabolizar tanto os açúcares pentoses quanto hexoses presentes nos resíduos de café para produção de bioetanol.

#### **5.2.1.3.4 Processo de conversão**

Das patentes solicitadas que tiveram o foco no “Processo de conversão”, apresentados na Figura 30, pode-se destacar o processo de transesterificação,

assim como ocorreu nos artigos científicos, com 9 patentes solicitadas. Pode-se citar a patente *Method for degumming and Esterification of an Oil* (WO134495A1) de 2015, solicitada pela *Basf*, empresa alemã, líder na área química. Em 2014, a *Basf* adotou um novo posicionamento global com o *slogan* “*We create Chemistry*” (Nós criamos a Química), junto com a criação de uma plataforma online em busca de soluções nas áreas de produção de alimentos, urbanização e energia (BASF, 2021). Essa patente reivindicou o direito ao método de “*degumming*” (processo de remoção de fosfatídeos óleos vegetais) e esterificação de um óleo composto por glicerídeos, ácidos graxos, ácidos graxos livres e fosfolipídios. Esse método era baseado nos seguintes passos: mistura do óleo com um álcool monohidratado de cadeia C1 a C5 e ácido metanosulfônico para formar uma mistura de reação; aquecimento dessa mistura de reação, seguida da esterificação de ácidos graxos livres para produção de um éster alquil ácido graxo; e transesterificação dos glicerídeos restantes com o mesmo álcool monohidratado, na presença de pelo menos um catalisador básico, para formar o biodiesel.

Figura 30 – Processos de conversão (patentes solicitadas)



Fonte: Elaboração própria

Com relação às outras taxonomias, foram encontrados 8 pedidos de patentes envolvendo o processo de fermentação. Um exemplo é a patente é a *Coffee Fermentation Kit and Method* (WO098733A3), da Seattle University (EUA), que solicitou a proteção de um método e kit para testar a taxa de fermentação, subprodutos de fermentação e conclusão de fermentação da mucilagem do café. O



método compreende testar a taxa de fermentação do café testando uma amostra de café suspensa na água utilizando pelo menos um membro de um grupo de substratos e kits de teste divulgados e, após a formação de cores, comparando a cor resultante a uma escala de cor para determinar indiretamente a taxa de fermentação, subprodutos de fermentação e conclusão da fermentação.

Outro exemplo de patente é a *Endophytic Yeast Strains, Methods For Ethanol And Xylitol Production, Methods For Biological Nitrogen Fixation, And A Genetic Source For Improvement Of Industrial Strains* (WO105226A2), de 2010, da *Washington University* (EUA) com colaboração de depositantes independentes é um exemplo de documento que reivindicou a produção de etanol por meio da fermentação dos resíduos de café, empregando uma cepa endofítica de levedura selecionada do grupo composto por *Rhodotorula Graminis Strain WPI* (genêro de leveduras pigmentadas unicelulares).

Além disso, duas patentes sobre o processo de co-digestão anaeróbica e uma para o processo de esterificação foram encontradas. Pode-se citar como exemplo do processo de conversão de co-digestão anaeróbica, que está associado a produção de biogás, a patente *Process for Producing Biogas Through the Biomass Photo Catalytic Delignification* (MX013482A), de 2013, solicitada pela *Benemérita Universidad Autonoma de Puebla* (México), com colaboração de depositantes independentes, que reivindicou o direito ao processo de produção de biogás a partir da polpa de café, utilizando um pré-tratamento fotocatalítico para a sua delignificação, realizada sob radiação solar, seguida de uma etapa de co-digestão anaeróbica, usando estrume como fonte de co-substrato.

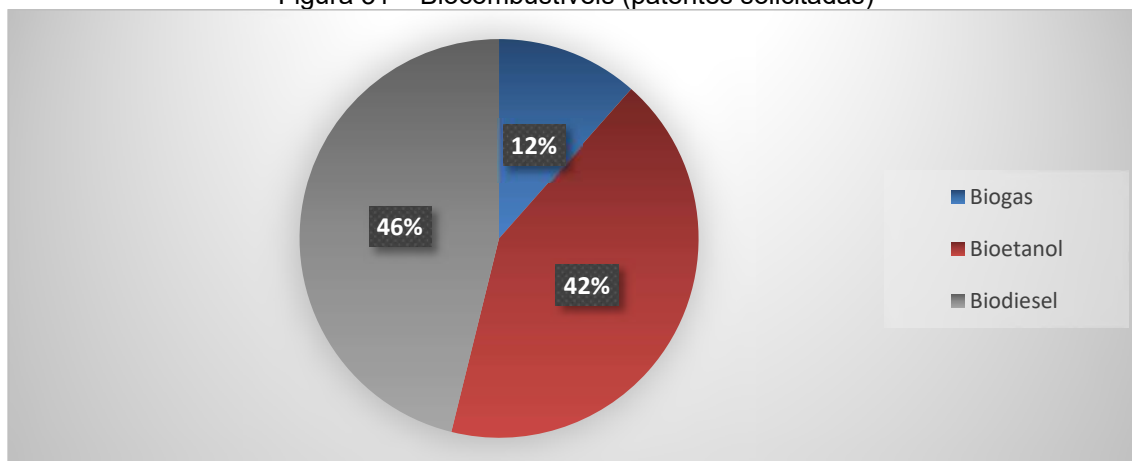
A segunda patente é a *Systems and Methods for Anaerobic Digestion of biomaterials* (WO112182A1) da *Epcot Crenshaw Corp*, empresa que desenvolve produtos e sistemas inovativos em busca de entregar soluções para problemas ambientais, que solicitou a proteção intelectual de um método para a realização da digestão anaeróbica de biomateriais, como a borra de café, utilizando um clarificador, um reator em lote e/ou um digestor. O clarificador realiza o processamento pré-tratamento de biomateriais para melhorar a digestão anaeróbica. O reator de lote e/ou o digestor são acoplados ao clarificador e são configurados

para digerir o biomamaterial processado com o objetivo final de obtenção de biogás.

#### 5.2.1.3.5 Biocombustíveis

Quanto à classificação Micro I referente aos “Biocombustíveis”, a Figura 31 ilustra os principais resultados encontrados para patentes solicitadas.

Figura 31 – Biocombustíveis (patentes solicitadas)



Fonte: Elaboração própria

Nas patentes solicitadas pesquisadas, o biodiesel foi o biocombustível mais reportado dentre os três investigados, em cerca de 46% dos documentos. Esse resultado foi similar ao de artigos científicos. O destaque ao biodiesel pode ser atribuído ao seu crescimento tanto em pesquisas quanto em aplicações industriais na última década, o que está relacionado à sua produção a partir de novas fontes de matérias-primas, como os resíduos de café, além da análise de cenário resultante do PNPB (RIBEIRO, 2018) e da obrigatoriedade dos 13% de biodiesel ao diesel no Brasil (ANP, 2021), mencionados anteriormente.

Exemplo de patente é a *Method for extracting biodiesel based on waste coffee grounds* (CN105779105A) que solicitou a proteção intelectual do método de extrair biodiesel a partir de resíduos de café (borra de café), a partir da secagem da borra, seguida do uso de n-heptano como solvente para extrair o óleo de café do resíduo, destilação do extrato e reciclo do solvente de n-heptano e secagem para obtenção do óleo de café que será transesterificado para obtenção do biodiesel. Outro exemplo é a patente *Biofuel* (US0270539A1) da empresa Bio-Bean Ltd.

Em segundo lugar, apareceu o bioetanol, em 42% dos pedidos de patentes, o que também se correlaciona aos resultados de artigos científicos. Como exemplo de patente solicitada tem-se: *Endophytic Yeast Strains, Methods For Ethanol And Xylitol Production, Methods For Biological Nitrogen Fixation, And A Genetic Source For Improvement Of Industrial Strains* (WO105226A2), de 2010, da *Washington University* (EUA) com colaboração de depositantes independentes, que reivindicou o direito à utilização de novas cepas de leveduras endofíticas capazes de metabolizar tanto os açúcares pentose quanto os hexose para produção de bioetanol e a patente *Method for producing bioethanol through coffee waste* (CN110106207A) que solicitou proteção intelectual a um método de preparação de bioetanol a partir de resíduos de café (borra de café). O método inclui as etapas de adição da borra de café e ácido sulfúrico à água desionizada para hidrólise, seguida de fermentação para obtenção de bioetanol.

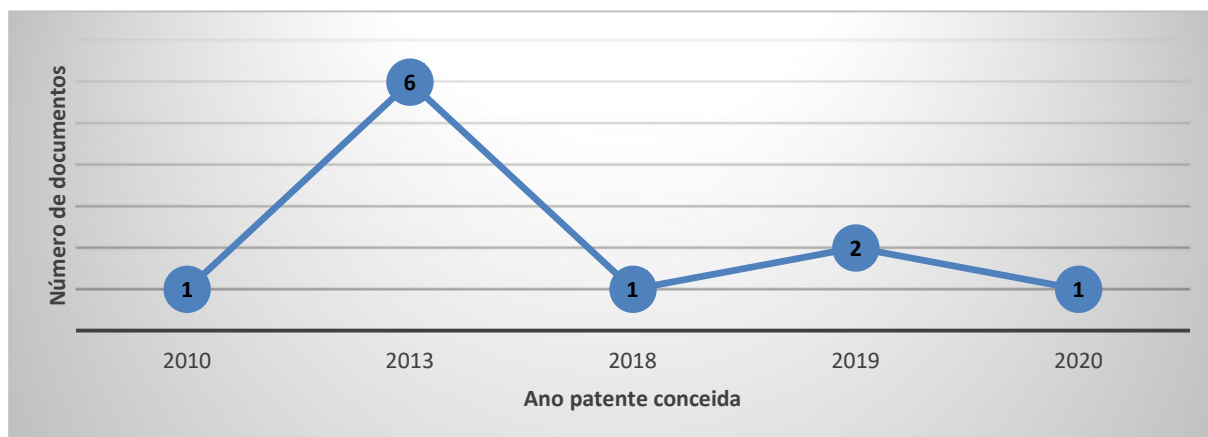
Em terceiro, apareceu o biogás, em 12% dos documentos analisados. Como exemplo, tem-se a patente solicitada pela *Benemérita Universidad Autonoma De Puebla* (México), em 2013, intitulada *Process For Producing Biogas Through The Biomass Photo Catalytic Delignification* (MX013482A), que reivindicou o direito à produção de biogás a partir da polpa de café, aplicando-se um pré-tratamento fotocatalítico para delignificação e, então, obtenção do biogás por digestão anaeróbica.

## **5.2.2 Patentes Concedidas**

### **5.2.2.1 Análise Macro**

Foram encontradas 11 patentes concedidas nas buscas realizadas. A Figura 32 apresenta a evolução temporal das patentes concedidas identificadas nesse estudo para o período de 2000 a Agosto de 2021.

Figura 32 – Evolução temporal das patentes concedidas - período de 2000 a Ago/2021

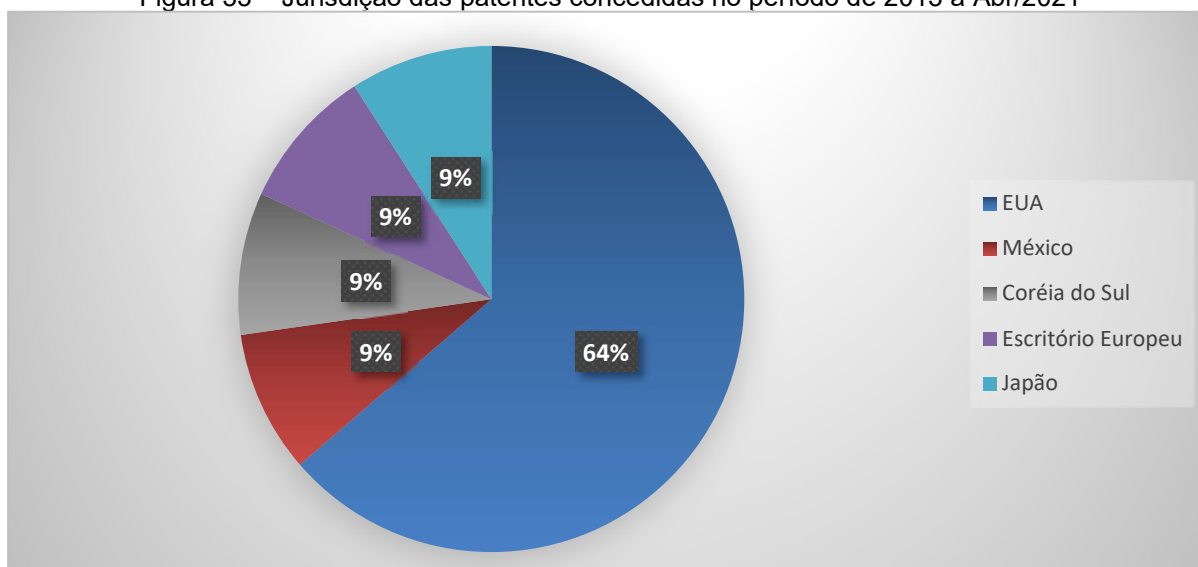


Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados *LENS* (2021).

É possível notar, na Figura 32, um total de 6 patentes concedidas em 2013, sendo 4 de domínio da *Menlo Energy Man Llc*, empresa norte-americana, prestadora de serviços no ramo de energia, fundada em 2009. Essas patentes reivindicaram o direito a diversas etapas do processo de produção do biodiesel a partir da borra de café, desde o pré-tratamento (extração lipídica) até o processo de conversão (esterificação e transesterificação).

Em relação à jurisdição, os escritórios de patentes por países para os documentos concedidos estão apresentados na Figura 33. O escritório com mais patentes concedidas foi o dos Estados Unidos, com 64% das patentes analisadas. Os principais detentores americanos dessas patentes foram a empresa *Menlo Energy Man Llc*, a *University of Nevada* e a *Range Fuels*, empresa que possuía o foco em tecnologia de conversão de biomassa em bioetanol sem o uso de enzimas, que foi fechada em 2011 e vendida para uma start-up da Nova Zelândia chamada *LanzaTech* em 2012, renomeada como *Freedom Pines Biorefinery*, que continua o trabalho de conversão para bioetanol, porém com a utilização das enzimas (BOMGARDNER, 2012).

Figura 33 – Jurisdição das patentes concedidas no período de 2013 a Abr/2021

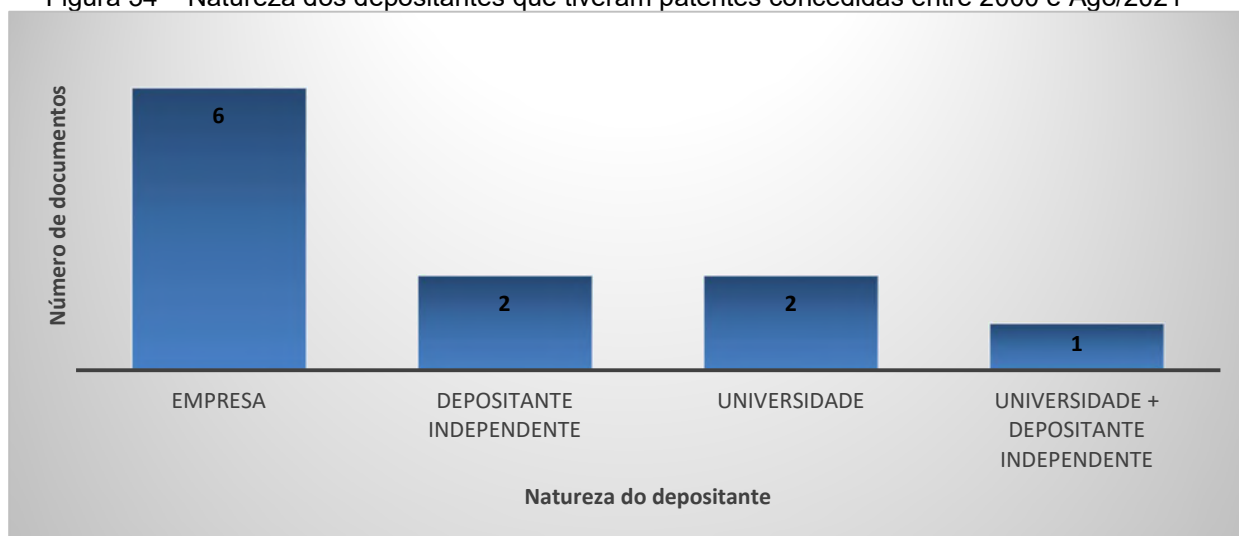


Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados *LENS* (2021).

Além dos Estados Unidos, os escritórios do México, Coréia do Sul, Japão e o europeu também apresentaram patentes concedidas relacionadas ao aproveitamento de resíduos de café no setor de biocombustíveis e energia, todos com apenas 1 patente concedida cada. Os Estados Unidos, Coréia do sul e México são os mesmos países que foram observados na análise de patentes solicitadas e ficaram entre os 8 países em destaque com o maior número de artigos publicados no tema. Já o Brasil não apresentou nenhuma patente concedida ou solicitada, diferentemente dos resultados obtidos para artigos científicos, em que ocupou a segunda posição no *ranking* de países com maior número de publicações sobre o tema.

A Figura 34 apresenta os diferentes depositantes de patentes, com destaque a universidades, empresas e pessoas físicas (depositantes independentes), que tiveram seus pedidos concedidos no período avaliado.

Figura 34 – Natureza dos depositantes que tiveram patentes concedidas entre 2000 e Ago/2021



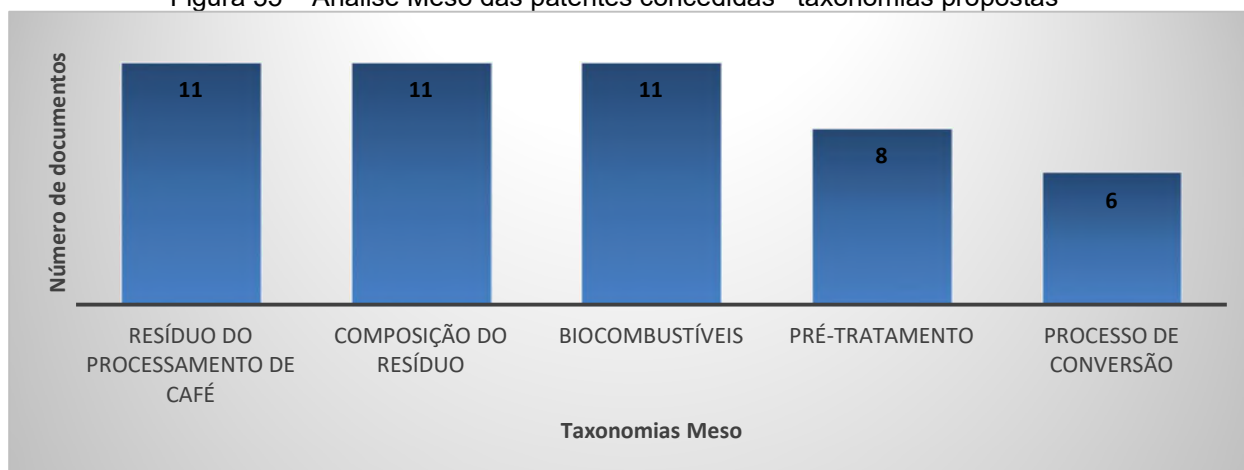
Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados *LENS* (2021).

Dentre os depositantes de empresa, houve 3 empresas com patentes concedidas. A *Menlo Energy Man Llc*, que detem quatro patentes concedidas. A *Range Fuels* e a *Tsukishima Kikai Co*, cada uma com uma patente concedida cada. Das universidades com patentes concedidas, três se destacaram: a *University of Nevada* (EUA), *Korea Advanced Inst Sci & Tech* (KAIST) (Coreia do Sul), e a *Benemerita Universidad Autonoma De Puebla* (México). Como exemplo de patente concedida à *University of Nevada* com parceria com depositantes independentes, tem-se a patente de número US8591605B2, de 2013, intitulada *Methods, Systems, And Apparatus For Obtaining Biofuel From Coffee And Fuels Produced Thereform*. Essa patente reinvidiou o direito ao método de produção de biodiesel, a partir da borra de café, em que os triglicerídeos e outros compostos, como antioxidantes, são extraídos desse resíduo e, então, transesterificados para produção desse biocombustível.

#### 5.2.2.2 Análise Meso

Para análise Meso, as mesmas taxonomias usadas na classificação dos artigos científicos e patentes solicitadas foram usadas para as patentes concedidas. A Figura 35 mostra a quantidade de patentes concedidas classificadas em cada uma das taxonomias propostas. Assim como na análise de artigos científicos e patentes solicitadas, uma mesma patente pode ser classificada em mais de uma categoria.

Figura 35 – Análise Meso das patentes concedidas– taxonomias propostas



Fonte: Elaboração própria.

A partir da análise da Figura 35, verificou-se que as taxonomias estão presentes na maioria das patentes concedidas, sendo a “Resíduo do processamento de café”, “Composição do resíduo” e “Biocombustíveis” as principais identificadas, assim como foi observado para patentes solicitadas e para artigos científicos. Uma vez que o objeto da prospecção foca na produção de biocombustíveis (produto final), era esperado que a taxonomia relacionada a “Biocombustíveis” fosse encontrada em maior número. Da mesma forma é possível fazer essa associação com a taxonomia relacionada à “Composição do resíduo”, uma vez que ela representa as frações lipídicas e lignocelulósicas que são necessárias para se produzir os biocombustíveis e a taxonomia “Resíduo do processamento de café” se relaciona com os tipos de resíduos que são estudados e utilizados como biomassa. Como exemplo de patente a *Modular and distributed methods and systems to convert biomass to syngas* (US8366796B2), da empresa Range Fuels, que reivindicou o direito ao método e sistemas de conversão de biomassa (borra de café) em gás de síntese (syngas), este pode ser convertido em bioetanol.

A taxonomia “Pré-tratamento” foi observada em 6 das 8 patentes concedidas. A *Benemerita Universidad Autonoma De Puebla* do México teve concedida em 2019 a patente intitulada *Process for producing Biogas through the biomass photo catalytic delignification* (MX366738B), que reivindicou o direito à tecnologia de produção de biogás a partir da polpa de café, empregando-se pré-tratamento fotocatalítico para

delignificação. Essa mesma universidade publicou um artigo em 2014, citado anteriormente, que descrevia esse método de produção de biogás.

A taxonomia “Processo de conversão” também foi abordada em 6 das 9 patentes concedidas analisadas. A empresa *Menlo Energy Man Llc* teve sua patente *Production of Biodiesel From Feedstock* (US8545702B) concedida em 2013. Nela, a empresa reivindicou o direito ao método de transesterificação para produção de biodiesel, após etapas de filtração e destilação, seguida de esterificação com metanol, na presença de um catalisador ácido, para redução do teor de ácidos graxos livres. Como resultado, um produto de estéres de ácidos graxos foi obtido e, então, transesterificado com metanol, na presença de catalisador alcalino, para obtenção do biodiesel.

#### **5.2.2.3 Análise Micro**

A Tabela 3 apresenta o número de patentes concedidas prospectadas e classificadas de acordo com as taxonomias a nível Micro I e Micro II propostas neste estudo.



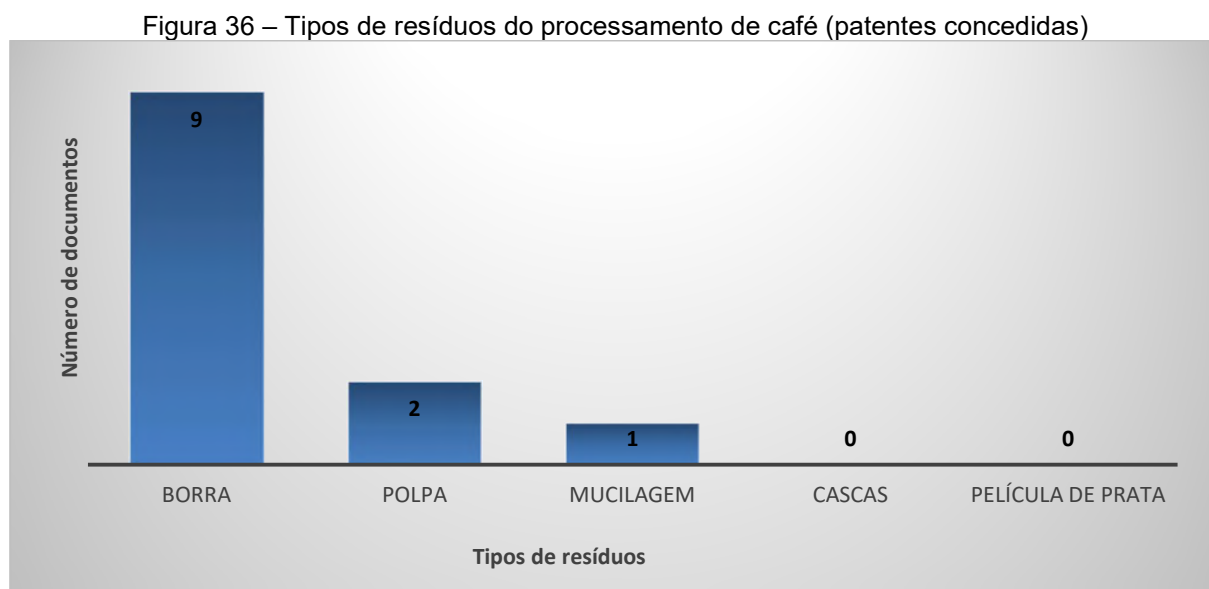
Tabela 3 - Tabela de escopo - patentes concedidas

Meso	Micro I	Micro II	Número de documentos
Resíduos do processamento de café	Via Seca	Casca	0
	Via Semisseca/semiúmida	Mucilagem	1
	Via Úmida	Polpa	2
		Mucilagem	0
	Via Facultativa	Borra	9
		Película de prata	0
Composição dos resíduos de café	Fração lignocelulósica		4
	Fração lipídica		7
Pré-tratamento	Físico	Secagem	5
	Físico-químico	Ácido-Base	3
		Micro-ondas/ultrassom	0
		Extração por solvente	6
		Outros	2
	Biológico	Hidrólise enzimática	2
Processo de conversão	Fermentação		2
	Co-digestão anaeróbica		1
	Esterificação		1
	Transesterificação	Convencional	5
		<i>in-situ</i>	1
Biocombustível	Bioetanol		3
	Biodiesel		7
	Biogás		1

Fonte: Elaboração própria

### 5.2.2.3.1 Resíduos do processamento de café

Como pode ser observado na Figura 36, das patentes concedidas com foco na taxonomia “Resíduos do processamento de Café”, foram reportados nove documentos utilizando a borra, dois utilizando a polpa e apenas um utilizando a mucilagem do café. Os outros resíduos não foram encontrados nas patentes estudadas. Portanto, a borra de café foi considerada o principal tipo de resíduo de café utilizado como matéria-prima na produção de biocombustíveis, assim como foi observado nas patentes solicitadas e nos artigos científicos. Exemplo de patente concedida é a *Process for making biofuel from Spent Coffee Grounds* (US10723965) que utiliza borra de café como fonte de biomassa para produção de biodiesel.



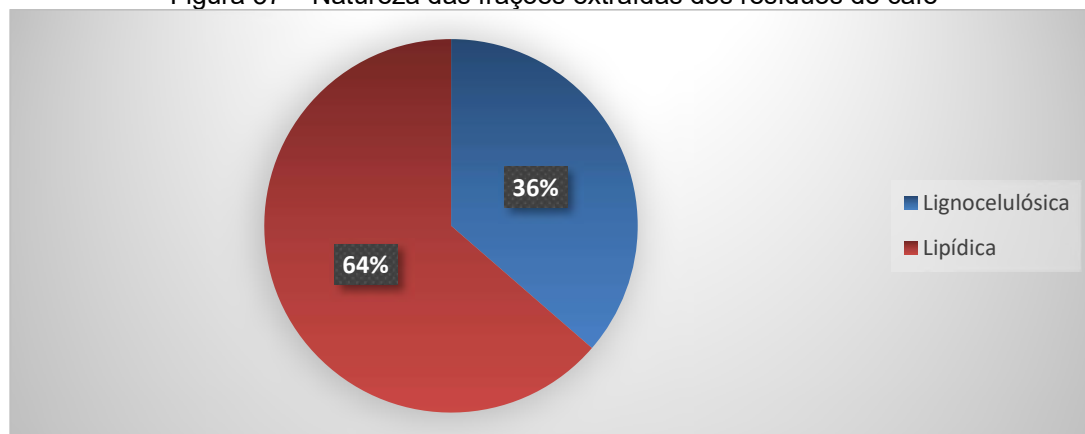
Fonte: Elaboração própria.

### 5.2.2.3.2 Composição química dos resíduos de café

Para as patentes concedidas referentes à “Composição do resíduo”, segundo a Figura 37, a fração lipídica foi investigada em 64% dos documentos selecionados, contra 36% para a fração lignocelulósica. Isso sugere um maior foco no processo de produção de biodiesel, em detrimento da produção de bioetanol e biogás. Exemplo de patente concedida é a *Method for Obtaining Honey From the Pulp of Husks and the Mucilage of the Coffee Bean* (EP2792245A1) que reivindicou a proteção ao

método de produção de polifenóis, proteínas, vitaminas e minerais através do método de concentração e conservação da mucilagem e da polpa de café para a utilização como biomassa lignocelulósica para a produção de bioetanol.

Figura 37 – Natureza das frações extraídas dos resíduos de café

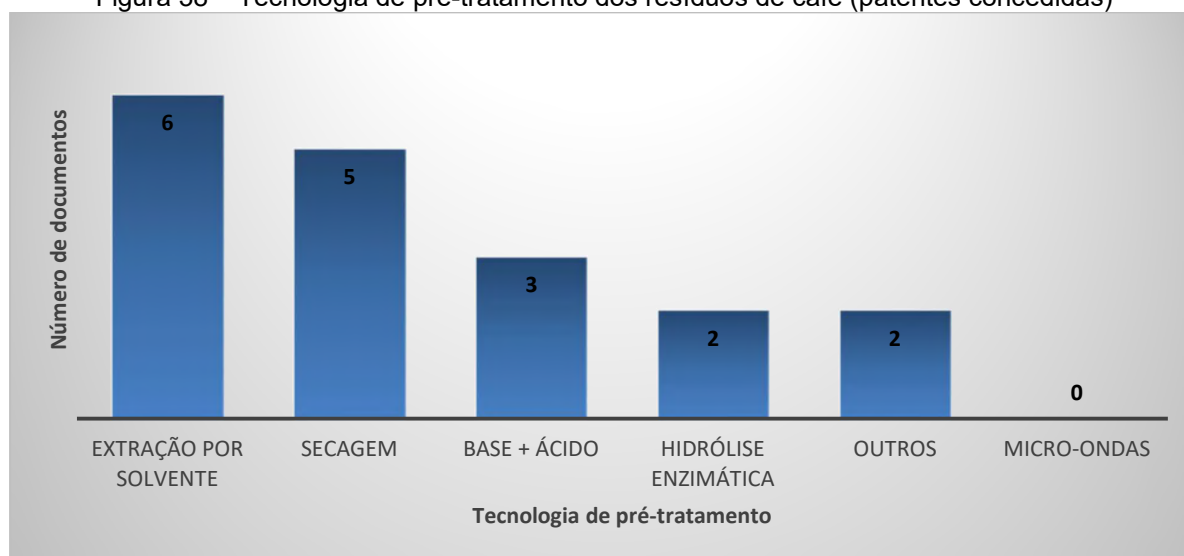


Fonte: Elaboração própria.

#### 5.2.2.3.3 Pré-tratamento

Quanto aos tipos de pré-tratamentos investigados, três diferentes tipos de processos foram reportados, sendo classificados em pré-tratamentos físico, físico-químico e biológico para a micro I. A Figura 38 apresenta as principais tecnologias de pré-tratamento definidas na micro II usadas com os resíduos de café nas patentes concedidas.

Figura 38 – Tecnologia de pré-tratamento dos resíduos de café (patentes concedidas)



Fonte: Elaboração própria.

1) Físico: O processo de secagem apresentou 5 patentes concedidas, mantendo seu destaque como nas análises feitas em artigos e patentes solicitadas. Um exemplo de documento que fazia uso desse pré-tratamento foi a patente *Process For Making Biofuel From Spent Coffee Grounds* (US10723965B1) concedida em 2020 a depositantes independentes (YANG e MINGMING, 2020), e que reivindicava proteção à produção de biocombustíveis a partir da borra de café. O método de produção compreendia etapas de lavagem da borra de café com um ácido inorgânico; aquecimento e agitação para formar um chorume da borra, sem separar o óleo de café; secagem do material; e mistura com um solvente, para, então, seguir aos processos de conversão a biocombustíveis de interesse.

2) Físico-químico: Com um total de 11 patentes concedidas, o pré-tratamento de maior destaque foi a extração por solvente, sendo abordada em 6 documentos. Um exemplo é a patente *Methods, systems, and apparatus for obtaining biofuel form coffee and fuels produced therefrom* (US8591605B2) da University of Nevada, de 2013, que reivindicou o direito a utilização do pré-tratamento da extração por solvente para a produção de biocombustíveis, como o biodiesel. Essa tecnologia é baseada na obtenção de triglicerídeos (lipídios) por extração mecânica, química (solventes orgânicos) ou destilação da borra de café.

A classificação “outros”, que se refere a pré-tratamentos menos utilizados como a fotocatalise e hidrolise térmica, correspondeu a 2 documentos do total de patentes concedidas, o que foi comparável aos resultados encontrados para patentes solicitadas e artigos científicos. Um exemplo de documento com essa classificação é a patente *Method For Preparing Biodiesel From Spent Coffe Ground Using Thermal Hydrolysis of Chlorinated Organic Solvents* (KR102013743B1), da *Korea Advanced Inst Sci& Tech* (KAIST), de 2019, que reivindicou o direito à utilização do pré-tratamento de hidrólise térmica para produção de biodiesel. Essa tecnologia é baseada na decomposição termodinâmica por solvente orgânico de cloreto para extração de lipídios da borra de café.

O pré-tratamento por microondas não apareceu nos documentos estudados

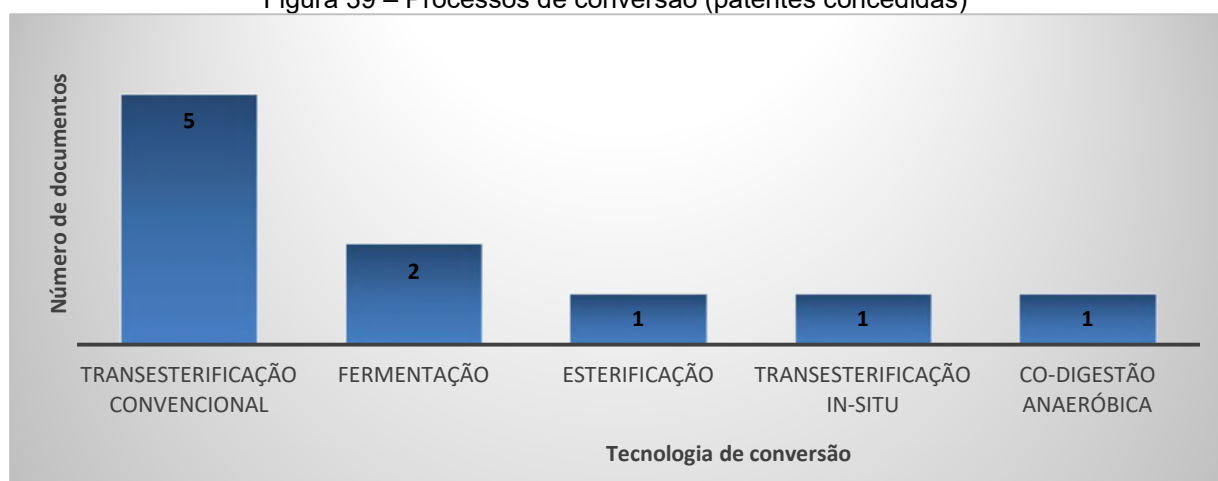
para patentes concedidas.

3) Biológico: A hidrólise enzimática, processo de pré-tratamento utilizado na produção de bioetanol, apresentou 2 patentes concedidas. Uma dessas patentes é a *Method for Producing Ethanol* (JP117942A) da Tsukishima Kikai Co, empresa que projeta e constrói plantas químicas, alimentícias e ambientais. A Empresa também constrói instalações de coleta de esgoto e resíduos e sistemas de automação de fábricas com foco em tecnologia ambiental, que reivindicou o direito à tecnologia de produção de bioetanol a partir biomassa da borra de café que após pré-tratamentos como secagem e ácidos diluídos, para quebra de lignina, passa por uma etapa de hidrólise para disponibilização de açúcares fermentáveis para a fermentação com o objetivo de obtenção do bioetanol.

#### 5.2.2.3.4 Processo de conversão

Dos documentos que tiveram o foco no “Processo de conversão”, podem-se destacar 7 patentes concedidas relacionadas à produção de biodiesel. Dessas, 5 reportaram a transesterificação convencional como principal método de conversão (Figura 39).

Figura 39 – Processos de conversão (patentes concedidas)



Fonte: Elaboração própria.

A patente *Pretreatment, Esterification, And Transesterification of Biodiesel*

*Feedstock* (US8540881B1), concedida à empresa *Menlo Energy Man Llc* em 2013, reivindicou o direito ao processo de esterificação ácida para produção de biodiesel, utilizada para reduzir ácidos graxos livres e impedir a formação de sabão durante a reação de transesterificação alcalina.

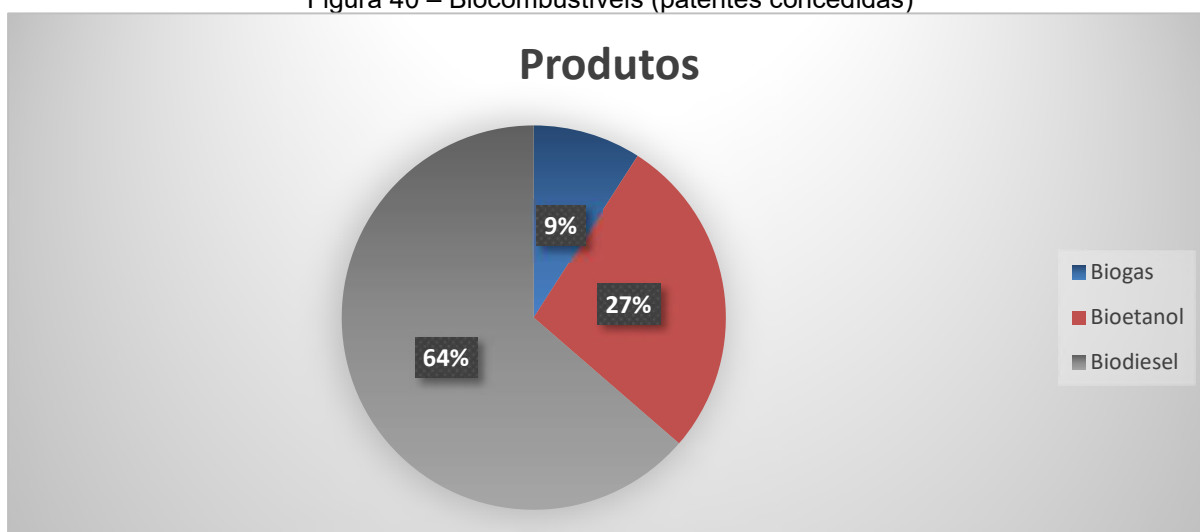
A fermentação, segunda taxonomia mais encontrada, teve 2 patentes concedidas que a abordavam. A *Method for Producing Ethanol* (JP117942A) e *Modular and distributed methods and systems to convert biomass to syngas* (US8366796B2).

A co-digestão anaeróbica, associado à produção de biogás, teve apenas 1 patente concedida, intitulada *Process for producing Biogas through the biomass photo catalytic delignification* (MX366738B).

#### 5.2.2.3.5 Biocombustíveis

Quanto à classificação Micro I referente a “Biocombustíveis”, segundo a Figura 40, cerca de 64% das patentes concedidas reportaram estudos relacionados ao biodiesel, enquanto 27% foram referentes ao bioetanol e os 9% restantes se referiram ao biogás.

Figura 40 – Biocombustíveis (patentes concedidas)



Fonte: Elaboração própria.

Como observado nas taxonomias anteriores, os resultados mais expressivos foram relacionados ao biodiesel. Portanto, os destaques à fração lipídica (composição de resíduo), à extração por solvente (pré-tratamento) e à transesterificação (processo de conversão), discutidos anteriormente, corroboraram com o resultado observado para os biocombustíveis reportados pelas patentes concedidas analisadas.

## **CAPÍTULO 6            CONCLUSÕES**

Por meio do levantamento e das análises realizadas sobre o aproveitamento de resíduos de café para a produção de biodiesel, bioetanol e biogás realizados neste estudo, foi possível estabelecer as tendências tecnológicas no uso dessa biomassa na indústria de biocombustíveis e energia. Pela análise de artigos, conseguiu-se definir uma evolução temporal que indicou um crescimento nas pesquisas acadêmicas, com destaque às realizadas por Universidades. Para as patentes, devido ao número baixo de documentos encontrados e seus resultados ponderados ao longo dos anos analisados, não foi possível definir a mesma tendência, embora seja esperado um crescimento no futuro.

O Brasil, apesar de não ter tido nenhuma patente depositada, é o segundo país com o maior número de artigos publicados sobre o tema, ficando atrás apenas da Coreia do Sul. Uma vez que o Brasil é um dos maiores produtores de café do mundo, esse resultado demonstra o interesse e o potencial que o país possui no aproveitamento dos resíduos de café, especialmente para a geração de energia.

A borra de café é um dos resíduos de maior interesse identificado na análise das pesquisas, tendo sido o mais relevante na taxonomia de “resíduos do processamento de café” tanto nas pesquisas com artigos científicos quanto na busca de patentes. Isso demonstra que a utilização deste resíduo é bastante promissora na aplicação no campo de produção de biocombustíveis.

Para biocombustíveis, todos demonstraram sua importância tanto no ramo de combustíveis quanto de energia e pode-se verificar um maior interesse nas análises realizadas para o biodiesel. Além disso, para a taxonomia “pré-tratamentos” obteve-se um destaque da técnica de extração por solvente referente a taxonomia “Pré-tratamentos”, demonstrando a importância desta técnica para o processo de conversão deste biocombustível tendo destaque métodos como Soxhlet e método de ultrassom.

Foi possível verificar que o aproveitamento de resíduos de café na indústria de biocombustíveis e energia está em crescimento e sendo cada vez mais explorado no meio acadêmico, devido ao número de documentos analisados de artigos e que



ainda possui um bom espaço para inovação tecnológica devido ao número de patentes analisadas.

O Quadro 6 apresenta um resumo dos principais resultados obtidos na prospecção tecnológica deste estudo.

Quadro 6 - Resumo dos resultados encontrados na prospecção tecnológica do aproveitamento dos resíduos de café para a produção de biocombustíveis.

	Artigos Científicos	Patentes Solicitadas	Patentes Concedidas
<b>Macro</b>			
<b>Países/ Jurisprudência</b>	Coreia do Sul (1), Brasil (2) e México (3)	Escritório Mundial de Patentes	Estados Unidos da América
<b>Instituições detentoras</b>	Universidades	Empresas	Empresas
<b>Meso/Micro</b>			
<b>Resíduos do processamento de café</b>	Borra de café	Borra de café	Borra de café
<b>Composição dos resíduos de café</b>	Lipídica/Lignocelulósica	Lignocelulósica	Lipídica
<b>Pré-tratamento</b>	Físico: secagem; Físico- químico: extração por solvente; Biológico: hidrólise enzimática	Físico: secagem; Físico-químico: extração por solvente; Biológico: hidrólise enzimática	Físico: secagem; Físico-químico: extração por solvente Biológico: hidrólise enzimática
<b>Processo de conversão</b>	Fermentação e Transesterificação convencional	Transesterificação convencional	Transesterificação convencional
<b>Biocombustível</b>	Biodiesel	Biodiesel	Biodiesel

Fonte: Elaboração própria.

## **CAPÍTULO 7            TRABALHOS FUTUROS**

Como trabalhos futuros, sugere-se a elaboração de um mapa tecnológico (*Technology Roadmap*), que permita estabelecer uma relação entre as necessidades mercadológicas, panorama tecnológico e tendências para o desenvolvimento de novos negócios e pesquisas envolvendo o aproveitamento de resíduos de café pela indústria de biocombustíveis e energia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAD, P. M. Valorização de resíduos agro-industriais por processos de digestão anaeróbia. **Research Gate**, 2015. DOI: 10.13140/RG.2.2.35695.23201.

ABIOGÁS, Associação Brasileira de Biogás, 2021. Disponível em: <[https://abiogas.org.br/wp-content/uploads/2021/06/PANORAMA-DO-BIOGAS-NO-BRASIL-2020-v.8.0-1\\_1.pdf](https://abiogas.org.br/wp-content/uploads/2021/06/PANORAMA-DO-BIOGAS-NO-BRASIL-2020-v.8.0-1_1.pdf)>. Acesso em 31 de julho 2021.

ALENCAR, M. S. M.; PORTER, A. L.; ANTUNES, A. M. S. Nanopatenting patterns in relation to product life cycle. **Tecnological Forecasting & Social Change**, v.74, p.1661- 1680, 2007.

AL-HAMAMRE, Z. et al. Oil extracted from spent coffee grounds as a renewable source for fatty acid methyl ester manufacturing. **Fuel**, v. 96, p. 70-76, 2012. DOI: 10.1016/j.fuel.2012.01.023.

ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-abertos/producao-de-biocombustiveis>>. Acesso em 31 de julho 2021.

ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/distribuicao-e-revenda/painel-dinamico-do-mercado-brasileiro-de-biodiesel>>. Acesso em 31 de julho 2021.

ARAUJO, R. M. e CHUERI, L. O. V. Da Pesquisa à Inovação em Sistemas de Informação. 1ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, v. 1, p. 41-73, 2018.

ATABANI, A. E. et al. Integrated valorization of waste cooking oil and spent coffee grounds for biodiesel production: Blending with higher alcohols, FT-IR, TGA, DSC and NMR characterizations. **Fuel**, v. 244, p. 419-430, 2019. DOI: 10.1016/j.fuel.2019.01.169.

ATABANI, A. E. et al. Valorization of spent coffee grounds into biofuels and value-added products: Pathway towards integrated bio-refinery. **Fuel**, v. 254, p.

115640, 2019. DOI: 10.1016/j.fuel.2019.115640.

ATABANI, A. E.; AL-RUBAYE, O. K. Valorization of spent coffee grounds for biodiesel production: blending with higher alcohols, FT-IR, TGA, DSC, and NMR characterizations. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 2020. DOI: 10.1007/s13399-020-00866-z.

BATTISTA, F. et al. Added-value molecules recovery and biofuels production from spent coffee grounds. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 131, p. 110007, 2020. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110007.

BATTISTA, F. et al. Optimization of biogas production from coffee production waste. **Bioresource Technology**, v. 200, p. 884-890, 2015. DOI: 10.1016/j.biortech.2015.11.020.

BORSCHIVER, S. **Technology Roadmap – Planejamento estratégico para alinhar mercado-produto-tecnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2016.

BURNIOL-FIGOLS, A. et al. Integration of chlorogenic acid recovery and bioethanol production from spent coffee grounds. **Biochemical Engineering Journal**, v. 116, p. 54-64, 2016. DOI: 10.1016/j.bej.2016.04.025.

BURTON, R.; FAN, X.; AUSTIC, G. Evaluation of Two-Step Reaction and Enzyme Catalysis Approaches for Biodiesel Production from Spent Coffee Grounds, **International Journal of Green Energy**, 7:5, 530-536, 2010. DOI: 10.1080/15435075.2010.515444 .

CAETANO, N. S. et al. Spent coffee grounds for biodiesel production and other applications. **Clean Tech Environ Policy**, 2014. DOI: 10.1007/s10098-014-0773-0.

CAETANO, N. S. et al. Valorization of Spent Coffee Grounds: Production of Biodiesel via Enzymatic Catalysis with Ethanol and a Co-solvent. **Waste Biomass Valor**, 2017. DOI: 10.1007/s12649-016-9790-z.

CHALA, B. et al. Biogas Potential of Coffee Processing Waste in

Ethiopia. **Sustainability**, 2018. DOI:10.3390/su10082678.

CHOKCHAI, M.; RUAMPORN, N.; ANIDA, P.; JUTARUT, I.; KULCHANART, P. Extraction and Esterification of Waste Coffee Grounds Oil as Non-Edible Feedstock for Biodiesel Production, **Renewable Energy** 2018. DOI: 10.1016/j.renene.2018.08.102.

CIBIOGAS, Centro Internacional de Energias Renováveis, 2021. Disponível em: <<https://biblioteca.cibiogas.org/biblioteca/notatecnica/pdf/panorama-do-biogas-no-brasil-em-2019.pdf>>. Acesso em 31 de julho 2021.

CLARIVATE ANALYTICS, 2021. Disponível em: <[http://images.webofknowledge.com/WOKRS5132R4.2/help/pt\\_BR/WOK/hp\\_databases.html#dsy366-TRS\\_wos](http://images.webofknowledge.com/WOKRS5132R4.2/help/pt_BR/WOK/hp_databases.html#dsy366-TRS_wos)>. Acesso em 31 de julho 2021.

COELHO, G. M. Prospeção tecnológica: metodologias e experiências nacionais e internacionais: tendências tecnológicas. **Nota técnica 14**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia, 2003. Projeto CTPETRO.

CONAB, Companhia Nacional do Abastecimento, 2021. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>>. Acesso em 31 de julho 2021.

CORRO, G. et al. Enhanced biogas production from coffee pulp through deligninocellulosic photocatalytic pretreatment. **Energy Science & Engineering**, v. 2, ed. 4, p. 177-187, 2014. DOI: 10.1002/ese3.44.

CORRO, G. et al. Generation of biogas from coffee-pulp and cow-dung co-digestion: Infrared studies of post combustion emissions. **Energy Conversion and Management**, v. 74, p. 471-481, 9 ago. 2013. DOI: 10.1016/j.enconman.2013.07.017.

DURÁN, C. A. A.; TSUKUI, A.; KAYODÈ, F. F. S.; MARTINEZ, S. T.; BIZZO, H. R.; DE REZENDE, C M. Coffee: General Aspects and its Use beyond Drink. **Revista Virtual de Química**, vol. 9, no. 1, p. 107–134, 2017. DOI: 10.21577/1984-6835.20170010.

EFTHYMIOPOULOS, I. et al. Effect of Solvent Extraction Parameters on the Recovery of Oil From Spent Coffee Grounds for Biofuel Production. **Waste Biomass Valor**, 2017. DOI: 10.1007/s12649-017-0061-4.

ESQUIVEL, P.; JIMÉNEZ, V. M. Functional properties of coffee and coffee by-products. **Food Research International**, v. 46, p. 488-495, 2012. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.05.028.

GO, A. W. et al. Extraction of lipids from post-hydrolysis spent coffee grounds for biodiesel production with hexane as solvent: Kinetic and equilibrium data. **Biomass and Bioenergy**, v. 140, p. 105704, 2020. DOI: 10.1016/j.biombioe.2020.105704.

GOH, B. H. H. et al. Ultrasonic assisted oil extraction and biodiesel synthesis of Spent Coffee Ground. **Fuel**, v. 261, p. 116121, 2020. DOI: 10.1016/j.fuel.2019.116121.

GÓMEZ-DE LA CRUZ, F. J. et al. A vital stage in the large-scale production of biofuels from spent coffee grounds: The drying kinetics. **Fuel Processing Technology**, v. 130, p. 188-196, 12 out. 2014. DOI: 10.1016/j.fuproc.2014.10.012.

GOUVEA, B. M. et al. Feasibility of ethanol production from coffee husks. **Biotechnol Lett**, v. 31, p. 1315-1319, 2009. DOI: 10.1007/s10529-009-0023-4.

GURRAM, R. et al. Technical possibilities of bioethanol production from coffee pulp: a renewable feedstock. **Clean Tech Environ Policy**, 2015. DOI: 10.1007/s10098-015-1015-9.

ICO, *Internacional Coffee Organization*, 2021. Disponível em: <<http://www.ico.org/prices/po-production.pdf>>. Acesso em 31 de julho 2021.

INOVACAFÉ, Universidade Federal de lavras, 2021. Disponível em: <<http://www.inovacafe.ufla.br/>>. Acesso em 31 de julho 2021.

JOËT, T. et al. Influence of environmental factors, wet processing and their

interactions on the biochemical composition of green Arabica coffee beans. **Food Chemistry**, v. 118, p. 693-701, 2009. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.05.048.

KAMIL, M. et al. Comprehensive evaluation of the life cycle of liquid and solid fuels derived from recycled coffee waste. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 150, p. 104446, 2019. DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.104446.

KAMIL, M. et al. Economic, technical, and environmental viability of biodiesel blends derived from coffee waste. **Renewable Energy**, v. 147, p. 1880-1894, 2020. DOI: 10.1016/j.renene.2019.09.147.

KAMIL, M. et al. Environmental impacts of biodiesel production from waste spent coffee grounds and its implementation in a compression ignition engine. **Science of the Total Environment**, v. 675, p. 13-30, 2019. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.156

KARMEE, S. K. A spent coffee grounds based biorefinery for the production of biofuels, biopolymers, antioxidants and biocomposites. **Waste management**, v. 72, p. 240-254, 25 fev. 2017. DOI: 10.1016/j.wasman.2017.10.042.

KARMEE, S. K.; SWANEPOEL, W.; MARX, S. Biofuel production from spent coffee grounds via lipase catalysis, **Energy Sources**, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, v. 40, p. 294-300, 2018. DOI: 10.1080/15567036.2017.1415394.

KIM, H.M.; CHOI, Y-S.; LEE, D-S.; KIM, Y-H.; BAE, H-J. Production of bio-sugar and bioethanol from coffee residue (CR) by acid-chlorite pretreatment, **Bioresource Technology** (2017). DOI: 10.1016/j.biortech.2017.03.143.

KIM, J. et al. Anaerobic co-digestion of spent coffee grounds with different waste feedstocks for biogas production. **Waste Management**, 2016. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.10.015.

KIM, J. Y.; YEOM, S. H. Optimization of Biodiesel Production from Waste Coffee Grounds by Simultaneous Lipid Extraction and Transesterification. **Biotechnology and Bioprocess Engineering**, 2020. DOI:

10.1007/s12257-019-0353-6.

KWON, E.E.; YI, H.; JEON, Y.J. Sequential Co-Production of Biodiesel and Bioethanol with Spent Coffee Grounds, **Bioresource Technology**, 2013. DOI: 10.1016/j.biortech.2013.03.052.

LENS, 2021. Disponível em: < <https://about.lens.org/>>. Acesso em 31 de julho 2021.

LIU, Y. et al. Direct transesterification of spent coffee grounds for biodiesel production. **Fuel**, v. 199, p. 157-161, 25 fev. 2017. DOI: 10.1016/j.fuel.2017.02.094.

MENEZES, E. G. T. et al. Optimization of Alkaline Pretreatment of Coffee Pulp for Production of Bioethanol. **Alche**, v. 30, ed. 2, p. 451-462, 2014. DOI: 10.1002/btpr.1856.

MORALES-MARTÍNEZ, J. L. et al. Optimization of Chemical Pretreatments Using Response Surface Methodology for Second-Generation Ethanol Production from Coffee Husk Waste. **Bioenergy research**, 2020. DOI: 10.1007/s12155-020-10197-6.

MUSSATTO, S. I. et al. Sugars metabolism and ethanol production by different yeast strains from coffee industry wastes hydrolysates. **Applied Energy**, v. 92, p. 763-768, 2011. DOI: 10.1016/j.apenergy.2011.08.020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2021. Disponível em: < <https://unric.org/pt/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/>>. Acesso em 31 de julho 2021.

ORREGO, D; ZAPATA-ZAPATA, A. D.; KIM, D. Optimization and Scale-Up of Coffee Mucilage Fermentation for Ethanol Production. **Energies**, v. 11, p. 786, 2018. DOI: 10.3390/en11040786.

PARK, J.; KIM, B.; LEE, J.W. In-situ transesterification of wet spent coffee grounds for sustainable biodiesel production, **Bioresource Technology**, 2016. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.09.001.



PIZZANI, L.; SILVA, R. C.; HAYASHI, M. C. P. I. Bases de dados e bibliometria: A presença da Educação Especial na base Medline. **Revista Brasileira de Biblioteconomia e Documentação**, Nova Série, São Paulo, v.4, n.1, p.68-85, jan./jun. 2008.

POLI, M. **Roadmap Tecnológico da Produção de Etanol de Segunda Geração a Partir do Bagaço e da Palha da Cana-de-Açúcar**. 226 p., Dissertação (Mestrado em Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019.

PORTAL BRASILEIRO DE DADOS ABERTOS, 2021. Disponível em: <<https://dados.gov.br/dataset/producao-de-biocombustiveis>>. Acesso em 31 de julho 2021.

RIBEIRO, V. S. Mercado do biodiesel no Brasil: Uma análise da produção, desenvolvimento tecnológico e objetivos sociais do PNPB. **Desenvolvimento Regional em debate**, v. 9, p. 18-41, 2018.

ROCHA, M.V.P.; DE MATOS, L.J.B.; DE LIMA, L.P.; DA SILVA FIGUEIREDO, P.M.; LUCENA, I.L.; FERNANDES, F.A.N.; GONÇALVES, L.R.B. Ultrasound-assisted production of biodiesel and ethanol from spent coffee grounds. **Bioresource Technology**, 2014. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.06.032.

SCHUBERT, T. Production routes of advanced renewable C1 to C4 alcohols as biofuel components – a review. **Biofuels, bioproducts & biorefining**, v. 14, p. 845-878, 2020. DOI: 10.1002/bbb.2109.

SECRETARIA DE AGRICULTURA DO GOVERNO DE MINAS GERAIS, 2021. Disponível em: <[http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/perfil\\_caf%C3%A9\\_junho\\_2021\[1\].pdf](http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/perfil_caf%C3%A9_junho_2021[1].pdf)>. Acesso em 31 de julho 2021.

SHENOY, D. et al. A study on bioethanol production from cashew apple pulp and coffee pulp waste. **Science Direct**, v. 35, p. 4107-4111, 2011. DOI: 10.1016/j.biombioe.2011.05.016.

TUNTIWIWATTANAPUN, N. et al. In-situ transesterification process for biodiesel production using spent coffee grounds from the instant coffee industry. **Industrial Crops and Products**, v. 102, p. 23-31, 2017. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.03.019.

TUNTIWIWATTANAPUN, N. et al. The energy usage and environmental impact assessment of spent coffee grounds biodiesel production by an in-situ transesterification process. **Energy for Sustainable Development**, v. 40, p. 50-58, 2017. DOI: 10.1016/j.esd.2017.07.002

TUNTIWIWATTANAPUN, N.; TONGCUMPOU, C. Sequential extraction and reactive extraction processing of spent coffee grounds: An alternative approach for pretreatment of biodiesel feedstocks and biodiesel production. **Industrial Crops and Products**, v. 117, p. 359-365, 2018. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.03.025.

VARDON, D. R. et al. Complete Utilization of Spent Coffee Grounds To Produce Biodiesel, Bio-Oil, and Biochar. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, n. 1, p. 1286–1294, 2013. DOI: 10.1021/sc400145w.

VENDRUSCULO, V.; FONTOURA, L. Avaliação da estabilidade à oxidação e do ponto de entupimento de filtro a frio de biodieseis derivados de blendas de sebo bovino com óleo de soja. **Research Gate**, 2015.

YADIRA, P-S. B. et al. Bioethanol production from coffee mucilage. **Energy Procedia**, v. 57, p. 950-956, 2014. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.10.077.

YADVIKA, A. et al. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques—a review. **Bioresource Technology**, v. 95, p. 1-10, 2004. DOI: 10.1016/j.biortech.2004.02.010.

PIRES, E. A.; RIBEIRO, N. M.; QUINTELLA, C. M. Sistemas de Busca de Patentes : análise comparativa entre Espacenet , Patentscope , Google Patents , Lens , Derwent Innovation Index e Orbit Intelligence. **Cadernos de Prospecção, Salvador**, v. 13, n. 1, p. 13–29, 2020. DOI: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.9771/ckwonp.v13i1.35147>

JENKINS, Rhodri W. et al. Effect of the Type of Bean, Processing, and Geographical Location on the Biodiesel Produced from Waste Coffee Grounds. **Energy & Fuels**, v. 28, p. 1166–1174, 2014. DOI: [dx.doi.org/10.1021/ef4022976](https://doi.org/10.1021/ef4022976)

TEHRANI, Nima Fotouhi et al. Coffee extract residue for production of ethanol and activated carbons. **Journal of Cleaner Production**, p. 1 - 7, 2015. DOI: [dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.031](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.031)

SON, Jeesung et al. Wet in situ transesterification of spent coffee grounds with supercritical methanol for the production of biodiesel. *Bioresource Technology*, 2018. DOI: [doi.org/10.1016/j.biortech.2018.03.067](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.03.067)

KOOKOS, I. K. Technoeconomic and environmental assessment of a process for biodiesel production from spent coffee grounds (SCGs). **Resources, Conservation & Recycling**, v. 134, p. 156 - 164, 2018. DOI: [doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.02.002](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.02.002)

ANH NGUYEN, Quynh et al. Development of an integrated process to produce D-mannose and bioethanol from coffee residue waste. **Bioresource Technology**, 2017. DOI: [dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.169](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.169)

MUEANMAS, Chokchai et al. Extraction and Esterification of Waste Coffee Grounds Oil as Non-Edible Feedstock for Biodiesel Production. **Renewable Energy**, 2018. DOI: [dx.doi.org/10.1016/j.renene.2018.08.102](https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.08.102)

SARNO, Maria; IULIANO, Mariagrazia. Active biocatalyst for Biodiesel Production from Spent Coffee Ground. **Bioresource Technology**, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.06.108>

SANTOS, Livia Caroline dos et al. Production of biogas (methane and hydrogen) from anaerobic digestion of hemicellulosic hydrolysate generated in the oxidative pretreatment of coffee husks. **Bioresource Technology**, v. 263, p. 601 - 612, 2018. DOI: [doi.org/10.1016/j.biortech.2018.05.037](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.05.037)

WOLDESENBET, Asrat Gebremariam et al. Bio-ethanol production from wet

coffee processing waste in Ethiopia. **Springer Plus**, v. 5, p. 1903, 2016. DOI: 10.1186/s40064-016-3600-8

DANG, Chi-Hien et al. Physicochemical Characterization of Robusta Spent Coffee Ground Oil for Biodiesel Manufacturing. **Waste and Biomass Valorization**, 2019. DOI: doi.org/10.1007/s12649-018-0287-9

SELVANKUMAR, T. et al. Process optimization of biogas energy production from cow dung with alkali pre-treated coffee pulp. **Biotech**, v. 7, p. 254, 2017. DOI: 10.1007/s13205-017-0884-5

UDDIN, M. N. et al. Waste coffee oil: A promising source for biodiesel production. **Energy Procedia**, v. 160, p. 677 - 682, 2019.

HARSONO, Soni Sisbudi et al. Second Generation Bioethanol from Arabica Coffee Waste Processing at Smallholder Plantation in Ijen Plateau Region of East Java. **Procedia Chemistry**, v. 14, p. 408 - 413, 2015.

TARIGAN, Julianti Br. et al. Direct biodiesel production from wet spent coffee grounds†. **Royal Society of Chemistry**, v. 9, p. 35109 - 35116, 2019.

ORFANOUDAKI, A. et al. Anaerobic Co-digestion of Pig Manure and Spent Coffee Grounds for Enhanced Biogas Production. **Waste and Biomass Valorization**, 2019. DOI: doi.org/10.1007/s12649-019-00796-6